



**Zur Steuerung von
Astreinigung und Dickenwachstum
bei Esche (*Fraxinus excelsior* L.)
und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.)**

**Inaugural-Dissertation zur
Erlangung der Doktorwürde
der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Brsg.**

vorgelegt von

Sebastian Hein

**Freiburg im Breisgau
2003**

Dekan: Prof. Dr. K.-R. Volz

Referent: Prof. Dr. H. Spiecker

Korreferent: Prof. Dr. Dr. h.c. G. Becker

Sachez les faire moins hauts
Vous les ferez plus vite,
Vous les ferez meilleurs
En les mangeant plus jeunes,
Ils seront aussi gros
Mais ils seront plus propres
Et plus appétissants!

H. DUFLOT

Vorwort

Die vorliegende Dissertation wurde im Rahmen des Projektes „Management of Mixed Broadleaved Forests in Europe“ unter der Leitung von Prof. Dr. H. Spiecker angefertigt. Sie entstand während meiner Zeit als Assistent am Institut für Waldwachstum der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg in den Jahren 1997 bis 2003.

Zuerst möchte ich meinem Betreuer Prof. Dr. H. Spiecker meinen Dank aussprechen. Die Möglichkeit, ein waldwachstumskundliches Thema weitgehend selbst auszuwählen und mit großer inhaltlicher wie organisatorischer Freiheit zu bearbeiten, ist nicht selbstverständlich. Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. G. Becker danke ich für die Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats.

Die im Rahmen des oben genannten Projektes erhobenen Daten dienten als Grundlage der vorliegenden Dissertation wie auch derjenigen von Forstrat M. Thies: „Die Schaftform von Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) unter besonderer Berücksichtigung der Kronenkonkurrenz“. Für die vertrauensvolle und zugleich konstruktive Zusammenarbeit möchte ich ihm recht herzlich danken.

Nicht vergessen werden sollen auch M. Neuberg, M. Wunschmann, P. Epp und Ph. Duncker, die als Diplomanden am Institut für Waldwachstum an Teilen des Messprogramms sehr engagiert mitgewirkt haben. Daneben sei allen Mitarbeitern des Instituts für Waldwachstum der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, insbesondere den Technikern F. Baab, A. Fehrenbach und C. Koch, ein herzlicher Dank für ihre Hilfe ausgesprochen, sei es bei der Präparation der Holzproben oder den Außenaufnahmen.

Die Außenaufnahmen im Ausland waren nicht ohne Ansprechpartner vor Ort zu bewältigen. Dabei unterstützten mich in Frankreich insbesondere Prof. Dr. Y. Bastien vom ENGREF-Centre de Nancy und Herr Ch. Allegrini vom CRPF-Franche-Comté. Besonderer Dank gilt den Herren Dr. J. Ceitel (Universität Posen), Prof. Dr. J. Kulhavy (Universität Brno), Prof. Dr. Kotar (Universität Ljubljana), Dr. G. Kerr (Forestry Commission), Prof. Dr. S. Matic und Dr. I. Anic (Universität Zagreb), Dr. F. Müller (Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), Prof. Dr. Ch. Rondeux (Universität Gembloux), Prof. Dr. J. P. Skovsgaard und Dr. A. Brunner (Forskningscentret for Skov & Landskab), Prof. Dr. Somogyi (Forstlichen Versuchsanstalt Budapest), deren Anregungen mich immer wieder neu für diese Arbeit motiviert und begeistert haben. Auch zahlreiche Mitarbeiter der Forstdirektionen sowie Forstamts- und Revierleiter privater und öffentlicher Forstbetriebe brachten meiner Arbeit stets großes Interesse entgegen. Diesem Interesse und Engagement fühlt sich diese Arbeit besonders verpflichtet und legt deshalb besonderes Augenmerk auf die Anforderungen von Waldbesitzern und Forstbetrieben als Endnutzern dieser Forschung.

Die Arbeit wurde überwiegend durch Mittel des European Forest Institute (*Joensuu/Finnland, Projekt 92/ 8553 EFI*) unterstützt. Weitere finanzielle Unterstützung gewährten dankenswerterweise die Landesforstverwaltungen Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg sowie die Gesellschaft zur Förderung der Forst- und Holzwirtschaft.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	GRUNDLAGEN DER WACHSTUMSSTEUERUNG VON ESCHEN UND BERGAHORN.....	1
1.2	STAND DER FORSCHUNG UND PROBLEMSTELLUNG.....	7
1.3	ZIELSETZUNG.....	12
1.4	ARBEITSHYPOTHESEN.....	13
2	METHODEN.....	15
2.1	FORSCHUNGSANSÄTZE.....	15
2.1.1	<i>Allgemeiner Forschungsansatz</i>	<i>15</i>
2.1.2	<i>Forschungsansatz zur Astreinigung</i>	<i>18</i>
2.1.3	<i>Forschungsansatz zum Dickenwachstum</i>	<i>21</i>
2.2	AUSWAHLKRITERIEN	22
2.3	DATENERHEBUNG AUF DEN AUFNAHMEFLÄCHEN.....	23
2.3.1	<i>Lagemarkierung und geografische Koordinaten.....</i>	<i>23</i>
2.3.2	<i>Standortskundliche Daten</i>	<i>24</i>
2.3.3	<i>Begründungsform, Betriebsart und Mischung.....</i>	<i>24</i>
2.4	DATENERHEBUNG AM STEHENDEN BAUM.....	25
2.4.1	<i>Baumverteilungspläne, Kronenablotung und Überschirmungsgrad.....</i>	<i>25</i>
2.4.2	<i>Brusthöhendurchmesser und Stockdurchmesser, soziale Klasse sowie Bohrkerngewinnung und Baumalter.....</i>	<i>27</i>
2.4.3	<i>Baumhöhen, Kronenansatz, Totastansatz, Zwiesel und lebende Sekundäräste</i>	<i>28</i>
2.5	DATENERHEBUNG AM LIEGENDEN STAMM	28
2.5.1	<i>Stammscheibentnahme, Höhenanalyse und Astanalyse.....</i>	<i>28</i>
2.5.2	<i>Entnahme und Vermessung überwallter Äste.....</i>	<i>31</i>
2.5.3	<i>Vermessung des jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite.....</i>	<i>33</i>
2.6	HERLEITUNG DES STICHPROBENUMFANGS.....	34
2.7	DATENAUSWERTUNG	38
2.7.1	<i>Fehlerquellen und Plausibilitätsprüfungen</i>	<i>38</i>
2.7.2	<i>Durchführung der Regressionsanalysen und statistischer Tests</i>	<i>40</i>
3	MATERIAL.....	43
3.1	KENNDATEN DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN.....	43
3.1.1	<i>Geografische Lage</i>	<i>43</i>
3.1.2	<i>Standortskundliche Gliederung.....</i>	<i>44</i>
3.2	KENNDATEN DER AUFNAHMEBÄUME.....	44
3.2.1	<i>Gesamtübersicht der Dimensions- und Wachstumsparameter.....</i>	<i>45</i>
3.2.2	<i>Gliederung nach Datenquelle.....</i>	<i>45</i>
3.2.3	<i>Gliederung nach Fragestellung.....</i>	<i>47</i>
3.2.4	<i>Gliederung nach Ländern</i>	<i>49</i>
3.2.5	<i>Gliederung nach Begründungsform, Betriebsart und Mischung.....</i>	<i>49</i>

3.3	KENNDATEN DER TRIEBLÄNGENMESSUNGEN, ÄSTE, SCHEIBEN, BOHRKERNE UND ÜBERWALLTEN ÄSTE	50
3.3.1	<i>Trieb­längen­mes­sun­gen und Äste</i>	51
3.3.2	<i>Scheiben und Bohrkerne</i>	52
3.3.3	<i>Überwallte Äste</i>	53
4	DYNAMIK DER ASTREINIGUNG	54
4.1	ENTWICKLUNG DES HÖHENWACHSTUMS	54
4.1.1	<i>Modellierung des Höhenwachstums</i>	54
4.1.2	<i>Höhenzuwachs und Trieb­längen­zuwachs entlang der Schaftachse</i>	58
4.2	ENTWICKLUNG DES KRONENANSATZES	59
4.2.1	<i>Modellierung der Kronenansatzhöhe</i>	59
4.2.2	<i>Kronenansatzhöhe in verschiedenen Sektoren am Schaft</i>	65
4.2.3	<i>Kronenansatzhöhe bei Solitären</i>	67
4.3	ENTWICKLUNG DER ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE UND DER INNEREN ÄSTIGKEIT	69
4.3.1	<i>Modellierung der astfreien Schaftlänge</i>	69
4.3.2	<i>Auftreten von Totästen</i>	74
4.3.3	<i>Modellierung der inneren Ästigkeit</i>	75
4.3.4	<i>Entwicklung der astfreien Schaftlänge bei Solitären</i>	79
4.4	WACHSTUM UND ÜBERWALLUNG DER PRIMÄRÄSTE	80
4.4.1	<i>Zusammenhang zwischen Astlänge und Astdurchmesser</i>	80
4.4.2	<i>Baumalter und Trieb­längen­wachstum an Ästen und der Schaftachse</i>	82
4.4.3	<i>Radius des asthaltigen Kerns</i>	88
4.4.4	<i>Überwallungsdauer</i>	91
4.4.5	<i>Wachstum der Primäräste bei Solitären</i>	94
4.5	ÄSTUNG VON ESCHE UND BERGAHORN	95
4.5.1	<i>Radius des asthaltigen Kerns</i>	96
4.5.2	<i>Überwallungsdauer</i>	99
4.5.3	<i>Qualität der Ästung</i>	101
4.6	AUFTRETEN VON LEBENDEN SEKUNDÄRÄSTEN.....	102
4.6.1	<i>Häufigkeit des Auftretens von lebenden Sekundärästen</i>	102
4.6.2	<i>Soziale Baumklasse</i>	104
4.6.3	<i>Durchschnittlicher Radialzuwachs</i>	106
4.6.4	<i>Relative Kronenlänge</i>	107
5	DYNAMIK DES DICKENWACHSTUMS.....	110
5.1	DICKENWACHSTUM UND KRONENBREITE	110
5.1.1	<i>Modell zur Bestimmung der Kronenbreite</i>	110
5.1.2	<i>Standort und Kronenbreite</i>	115
5.1.3	<i>Dickenwachstum und Kronenbreite von Solitären</i>	117
5.2	JÄHRLICHER RADIALZUWACHS UND JÄHRRINGBREITE	117
5.2.1	<i>Jährlicher Radialzuwachs und weitständige Erziehung</i>	117
5.2.2	<i>Jährlicher Radialzuwachs und soziale Baumklasse</i>	117
5.2.3	<i>Jährlicher Radialzuwachs und Jahrringbreite von Solitären</i>	117

6 FOLGERUNGEN FÜR DIE WACHSTUM- STEUERUNG	117
6.1 ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR STEUERUNG DER ASTREINIGUNG	117
6.2 ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR STEUERUNG DES DICKENWACHSTUMS	117
6.3 FORMULIERUNG VON PRODUKTIONSZIELEN.....	117
7 DISKUSSION.....	117
7.1 DISKUSSION DER VERWENDETEN METHODEN	117
7.1.1 <i>Auswahlkriterien</i>	117
7.1.2 <i>Datenerhebung am stehenden Baum</i>	117
7.1.3 <i>Datenerhebung am liegenden Stamm</i>	117
7.1.4 <i>Berechnung des Stichprobenumfangs</i>	117
7.1.5 <i>Methoden der Datenauswertung</i>	117
7.2 DISKUSSION DES VERWENDETEN MATERIALS	117
7.2.1 <i>Kennzahlen der Untersuchungsflächen</i>	117
7.2.2 <i>Kennzahlen der Aufnahmebäume – Stehendmessung</i>	117
7.2.3 <i>Kennzahlen der Aufnahmebäume – Liegendmessung</i>	117
7.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN ZUR DYNAMIK DER ASTREINIGUNG	117
7.3.1 <i>Entwicklung des Höhenwachstums</i>	117
7.3.2 <i>Entwicklung des Kronenansatzes</i>	117
7.3.3 <i>Entwicklung der astfreien Schaftlänge und der inneren Ästigkeit</i>	117
7.3.4 <i>Wachstum und Überwallung von Primärästen</i>	117
7.3.5 <i>Ästung von Esche und Bergahorn</i>	117
7.3.6 <i>Auftreten von lebenden Sekundärästen</i>	117
7.4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN ZUR DYNAMIK DES DICKENWACHSTUMS.....	117
7.4.1 <i>Dickenwachstum und Kronenexpansion</i>	117
7.4.2 <i>Jährlicher Radialzuwachs und Jahrringbreite</i>	117
7.5 ZUSAMMENFASSENDER BAUMARTENVERGLEICH	117
8 AUSBLICK.....	117
9 ZUSAMMENFASSUNG	117
10 SUMMARY	117
11 RÉSUMÉ.....	117
12 LITERATURVERZEICHNIS	117
13 TABELLENVERZEICHNIS	117
14 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	117
ANHANG I bis III.....	243

1 EINLEITUNG

Wertholz anstelle von qualitativ durchschnittlicher Massenware zu produzieren ist für Laubbäume eine zurzeit allgemein anerkannte Zielvorstellung in der europäischen Forstwirtschaft. Auch für die Wachstumssteuerung der Gemeinen Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und des Bergahorns (*Acer pseudoplatanus* L.) wird dieses Ziel im Allgemeinen übernommen.

Diese Laubbaumarten machen in Europa nicht erst durch eine zunehmend naturnahe Waldbewirtschaftung von sich reden. Bereits in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts waren sie Gegenstand intensiver ertragskundlicher Untersuchungen (z.B. WIMMENAUER 1918, WIMMENAUER 1919a, WIMMENAUER 1919b, OPPERMANN & BORNEBUSCH 1929, CARBONNIER 1947). In jüngster Zeit jedoch gilt diesen Baumarten besondere Aufmerksamkeit. Dabei spiegeln sich große ökologische und ökonomische Erwartungen an diese Laubbaumarten wider. Die bestmögliche Ausnützung des standörtlichen Wachstumspotenzials (z.B. FRANC & RUCHAUD 1996), die Aussicht auf Wertholzerzeugung in kurzen Produktionszeiträumen (s. u. a. PILARD-LANDEAU & LE GOFF 1997, ALLEGRIINI et al. 1998), hohe Rundholzerlöse (s. u. a. WHITEMAN et al. 1991, SOULERES 1997a, THOROE & OLLMANN 2001), aber auch Aspekte der Forstästhetik, der Landschaftsgestaltung und Artendiversität (z.B. JOACHIM 2001, BELL 2003) haben das Interesse an diesen Baumarten geweckt. Nach einer Expertenbefragung zur Edellaubbaumbewirtschaftung in Europa wird sich der langfristig angestrebte Flächenanteil von Esche und Bergahorn deutlich erhöhen (THIES & HEIN 2000).

Zur zielgerichteten Wachstumssteuerung sind jedoch Informationen zu standörtlichen Ansprüchen, zur Verjüngungsdynamik, zu Wachstumsabläufen und auch zu den qualitätsbestimmenden Holzigenschaften nötig. Aus diesem Grunde werden im Folgenden die wichtigsten Grundlagen einer zielgerichteten Wachstumssteuerung von Esche und Bergahorn vorgestellt. Anschließend erfolgt als Problemstellung die Darstellung des aktuellen Kenntnisstandes zur Ästigkeit und Dimensionsentwicklung im Zusammenhang mit einer Wertholzproduktion. Dies dient als Ausgangslage zur Formulierung von Zielsetzungen und Arbeitshypothesen für diese Arbeit.

1.1 GRUNDLAGEN DER WACHSTUMSSTEUERUNG VON ESCHEN UND BERGAHORN

Höchste Wuchsleistungen erreichen Esche und Bergahorn auf nährstoffreichen, tiefgründigen und spätfrostfreien Standorten mit sehr guter **Wasserversorgung** (vgl. WARDLE 1959, THILL 1970). Die Bedeutung der Wasserversorgung wird für die Esche von HULDEN (1941), DEVAUCHELLE & LEVY (1977), LE GOFF & LEVY (1984), KNORR (1987) sowie für den Bergahorn von FRANC & RUCHAUD (1996) und LE GOFF & MADESCLAIRE (1985) als entscheidender Faktor für das Wachstum hervorgehoben. Die Esche gilt dabei als besonders empfindlich gegenüber Stauwassereinfluss. Die im Vergleich zu anderen Baumarten besondere Toleranz der Esche gegenüber Trockenheit wurde in ökophysiologischen

Untersuchungen wiederholt betont (BESNARD & CARLIER 1990, CARLIER et al. 1992, LE GOFF et al. 1995, PELTIER & MARIGO 1998). ZOLLNER & KÖLLING (1994), WEBER (1998) und BINNER et al. (2000) betonen zusätzlich die Bedeutung der **Nährstoff- und Basenversorgung** und legen Nährstoffmangelgrenzen fest. WEBER (1998) beobachtet für Esche bei einer Basensättigung von 30 – 50 % und für Bergahorn von < 30 % nur dann noch gutes Wachstum, wenn gleichzeitig die Wasserzufuhr durch Hang- oder Grundwasser gesichert ist. ULRICH (1995) definiert für Esche und auch Bergahorn Mindestgrenzen der Basensättigung von 70 bzw. 50 %. Für den sauren Bereich geben THILL (1975) sowie FRANC & RUCHAUD (1996) für Esche einen unteren pH-Grenzwert von 4,5 an. GORDON (1964) und VON GADOW (1975) stellen die große Bedeutung der Stickstoffversorgung für das Wachstum der Esche heraus. In Übereinstimmung mit diesen Standortsansprüchen können sich Esche und Bergahorn nach ELLENBERG (1996) in Waldgesellschaften in der submontanen Stufe Mitteleuropas nur bei einem Wasserhaushalt von mäßig frisch bis feucht als herrschende Mischbaumart beteiligen.

Da sich die Esche auch auf flachgründigen und trockenen Kalkstandorten ansiedeln kann, wurde schon frühzeitig (vgl. MÜNCH & DIETRICH 1925, HERRE 1928) die Existenz von **Bodenrassen** mit den Ausprägungen „Wasseresche“ und „Kalkesche“¹ (später auch Standortrassen oder Ökotypen genannt) postuliert. Dabei sollen beispielsweise Kalkeschen selbst auf sehr gut wasserversorgten Standorten geringeres Wachstum als Wassereschen aufweisen. Dies wird jedoch in den nachfolgenden Untersuchungen in Frage gestellt (LEIBUNDGUT 1956, SCHÖNBORN 1965, KNORR 1987, WEISER 1995). Die Esche kann sich nach diesen Untersuchungen jedoch außergewöhnlich gut an sehr verschiedenartige Standortverhältnisse anpassen. Auf weniger gut wasserversorgten Standorten muss allerdings mit einer geringeren Wuchsleistung der Esche gerechnet werden. Dies kann eine Wertholzproduktion ausschließen. Neuere Untersuchungen zur genetischen Struktur von Eschen beider Standorte zeigen deutliche Unterschiede hinsichtlich der genetischen Differenzierung (HUSSENDÖRFER 2002). Die untersuchten Genorte werden mit Anpassungsmustern an Überflutungsereignisse und zeitweilig anaerobe Lebensbedingungen in Verbindung gebracht. Vergleichbare Untersuchungen zu Bergahorn liegen bislang nicht vor.

Natürliche Verjüngung von Esche und Bergahorn lässt sich im Allgemeinen leicht erzielen. Die **Schattentoleranz** beider Baumarten im frühen Entwicklungsstadium wird wiederholt bestätigt (WARDLE 1959, OKALI 1966, VAN MIEGROET & LUST 1972, VON LÜPKE 1989, WAGNER 1996, FRANC & RUCHAUD 1996). Auch längere Verjüngungszeiträume werden damit möglich. Bei ungleichmäßiger Auflichtung des Kronendaches lässt sich dabei die angestrebte Vorwüchsigkeit von Esche und Bergahorn vor der Buche leicht erreichen (VON LÜPKE 1989). So fanden VAN MIEGROET & LUST (1972) Eschenverjüngungen mit einem durchschnittlichen Alter von 18 Jahren und durchschnittlich 30 cm Höhe. Vergleichbares berichten OKALI (1966) und FAUST (1963) für den Bergahorn. Die große Reaktionsfähigkeit der Esche in diesem Entwicklungsstadium manifestiert sich in außerordentlichen Steigerungen des Höhenzuwachses nach Freistellung. Die Schattentoleranz nimmt aber bei beiden Baumarten mit fortschreitendem Ent-

¹ Beide Ausprägungen werden nach HERRE (1928) auch „Bergesche“ und „Auenesche“ genannt.

wicklungsstadium deutlich ab (ROLOFF 2001B), so dass sie schon bald als **Lichtbaumarten** bezeichnet werden müssen. Auch die Humusform beeinflusst den Verjüngungserfolg von Esche und Bergahorn und kann einen Beitrag zum Baumartenwechsel in Zuge der Verjüngung leisten. WATERS & SAVILL (1992) und VAN MIEGROET & LUST (1972) sowie TABARI & LUST (1999) berichten von zahlreich auflaufender Verjüngung des Bergahorns in Eschenbeständen.

Hinsichtlich der **künstlichen Verjüngung** weichen die Vorstellungen und Empfehlungen weit voneinander ab. Während einzelne Landesforstverwaltungen in Deutschland Mindestpflanzenzahlen für gesicherte Kulturen auf Freiflächen von 4000 - 5000 Pflanzen/ ha vorgeben, (z.B. HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1999, vgl. auch THIES & HEIN 2000), empfehlen Autoren aus Großbritannien und Frankreich mit 300 – 1200 bzw. 1600 - 2500 Stk/ ha weitaus niedrigere Pflanzenzahlen (KERR & EVANS 1993, DUFLOT 1995, ARMAND 1995, KERR 1995). Selbst bei Berücksichtigung unterschiedlicher Pflanzensortimente werden damit deutlich unterschiedliche Ausgangslagen für nachfolgende Pflegeeingriffe geschaffen.

In frühen Phasen der Entwicklung von Mischbeständen tritt häufig eine Dominanz der Esche gegenüber Mischbaumarten auf, die als „Vereschung“ beschrieben wird und bis zum Ausfall der beigemischten Baumarten führen kann (LEIBUNDGUT 1954, LEIBUNDGUT 1956, FAUST 1963, RÖHRIG 1966, FREIST 1990, WAGNER 1990, BÖRTH 1990a, BÖRTH 1990b). RYSAVY & ROLOFF (1994) definieren **Vereschung** als Ausfallen der Buche bis zum Baumholzalter in Beständen, Gruppen oder Trupps von Eschen und bieten dafür folgendes Klärungsmodell: bei mäßiger Wasserversorgung ist das überlegene Wurzelwachstum der Esche unter Freilandbedingungen ausschlaggebend für die Dominanz der Esche. Mit zunehmendem Eschenanteil verlagert sich der Schwerpunkt der Wurzelmasse der Buche in die tieferen, schlechter wasserversorgten Bodenhorizonte, so dass sich die Buchen nicht ausreichend mit Wasser aus den oberen Bodenschichten versorgen können (RYSAVY 1991, RUST & SAVILL 2000).

Zur Produktion von qualitativ hochwertigem Rundholz müssen sowohl **die qualitätsbestimmenden Holzeigenschaften** als auch die Möglichkeiten ihrer waldwachstumskundlichen Steuerung bekannt sein. Allerdings sind nicht alle Zusammenhänge zwischen Dimensions- beziehungsweise Zuwachsparemtern und Holzeigenschaften bekannt. Zudem sind nicht alle Holzeigenschaften steuerbar oder scheinen nicht steuerbar zu sein, da die zugrundeliegenden Ursache-Wirkungsbeziehungen noch nicht ausreichend beschrieben wurden. Das auf dem Holzmarkt angebotene Rundholz soll jedoch gängigen Handelsnormen genügen. Dazu gehören mechanische und chemische Festigkeitseigenschaften, Holzfarbe, Faserneigung als Hinweis auf die Drehwüchsigkeit, Merkmale der Holzstruktur wie z. B. auffällige Maserungen und Färbungen, aber auch die Ästigkeit und Dimension des Rundholzes.

Bei der Verwendung von Eschen- und Bergahornholz für hochwertige Endprodukte ist zur Zeit eine helle **Holzfarbe** erwünscht. Rundholz, das diesen Anforderungen genügt, wird entsprechend hoch bewertet, andere Farbtöne dagegen werden - auch wenn dies nur ästhetisch begründet ist - kaum nachgefragt. Hinweise auf Zusammenhänge zwischen der Holzfarbe bei der Esche und Dimensions- beziehungsweise Zuwachsparemtern geben

THILL (1975) sowie KERR (1998). Das Auftreten eines fakultativen **Braunkerns**² bei Esche ist dabei von großer Bedeutung, da die braune Farbe eine deutliche Wertminderung darstellt. Vom Braunkern ist der **Olivkern**³ zu unterscheiden (WAGENHOFF 1954, SACHS 1966, WAGENHOFF 1976). Entsprechend der Mode kann Holz von Oliveschen sehr hohe Preise erlösen. Die seit Beginn der 90er Jahre große Wertschätzung heller Hölzer auf dem Holzmarkt verursachte einen beträchtlichen Rückgang der Nachfrage für Eschenholz mit Braunkern (SOULÈRES 1997a, SOULÈRES 1997b). Das Auftreten des Braunkerns bei Esche wird in Zusammenhang mit dem Baumalter gebracht (BOSSHARD 1955, THILL 1970, DEVAUCHELLE & LEVY 1977, OLIVER-VILLANUEVA & BECKER 1993). BOSSHARD (1955) weist zudem auf einen Zusammenhang mit dem Standort hin, wonach die Braunkernausbildung mit zunehmender Wasserversorgung steigt. Ein Zusammenhang mit dem Dickenzuwachs konnte von OLIVER-VILLANUEVA & BECKER (1993) nicht, jedoch aber von QUER (1997) nachgewiesen werden. Nach Untersuchungen aus Belgien und Frankreich weisen bis zu 45 % der Eschen in einem Alter von 60 Jahren einen Braunkern auf (THILL 1970). OLIVER-VILLANUEVA (1993) findet erste Anzeichen des Braunkerns bereits ab einem Alter von 40 – 50 Jahren. Dies stimmt sehr gut mit frühen Untersuchungen von KOLLMANN (1941) überein. Nach diesen Untersuchungen (s. aber auch MÖLLER & GRAM 1951, BOSSHARD 1953, UZIELLI & PETRUCCI 1984, KERR 1998) sind jedoch keine Unterschiede in den Festigkeitseigenschaften zwischen braunem und weißem Eschenholz zu beobachten. Die unterschiedliche Wertschätzung beruht damit ausschließlich auf ästhetischem Empfinden. Damit wird die Frage des Auftretens eines Braunkerns zu einer wichtigen Rahmenvorgabe bei der Produktion von Eschenwertholz.

Das zerstreutporige Holz des Bergahorns ist innerhalb des Jahrrings in seiner Textur und bezüglich seiner Farbe sehr homogen. Ausschließlich weißes Ahornholz ist für höherwertige Verwendungen gesucht (ACHTERBERG 1963, VON WEDEL 1964, SACHS 1966, KELLER 1992). Farbfehler haben deshalb besondere Bedeutung für die Produktion von Bergahornholz. Wie bei Esche kann auch bei Bergahorn mit zunehmendem Alter und Durchmesser ein dunkler, runder oder unregelmäßig umrissener Farbkern auftreten, der ab einem Durchmesser von über 50 cm stark an Dimension zunimmt⁴ (VON WEDEL 1964). KJÖLBY et al. (1958) und ACHTERBERG (1963) berichten von Zusammenhängen zwischen abgestorbenen Ästen oder Frostrissen und nachfolgender dunkler Holzfärbung. ACHTERBERG (1963) konnte keine Unterschiede in der Holzhärtigkeit zwischen gefärbtem und weißem Bergahornholz feststellen. Der Bergahorn zeichnet sich neben seiner weißen Farbe jedoch durch zwei weitere Besonderheiten in der Holzstruktur aus, die als Vogel-

² Franz.: „coeur noir“, Engl.: „black heart“, Ital.: „cuore nero“ obwohl auch dort das Holz eine braune und nicht etwa schwarze Farbzeichnung aufweist. Als zugrundeliegender physiologischer Prozess werden von BOSSHARD (1955) Oxidationsprozesse vermutet. Obwohl damit eine parallele Argumentation zum Rotkern der Buche ZYCHA (1953) präsentiert wurde, liegt bislang noch keine vergleichende Untersuchung für beide Baumarten vor.

³ Nach WAGENHOFF (1954) und WAGENHOFF (1976) ist die Bezeichnung „Olivenesche“ die eigentlich korrekte Bezeichnung, da die besonderen streifenartigen Braunfärbungen dieses Eschenholzes der Farbstruktur verwandten Baumart *Olea europaea* sehr ähnlich ist. Eine echte Grünfärbung ist dagegen nur sehr selten zu beobachten.

⁴ An insgesamt 185 untersuchten Bergahornstämmen wiesen in der Gruppe der über 50 cm starken Bäume 75 % einen dunkel gefärbten Kern auf, der bei 50 % der Bäume einen Durchmesser über 10 cm hatte (VON WEDEL 1964).

augenahorn⁵ und Riegelahorn⁶ bezeichnet werden. Beide Spielarten sind sehr begehrt und erlösen auf dem Holzmarkt hohe Preise. Die nachwachsenden und angebotenen Mengen sind jedoch sehr gering, wie ARBOGAST (1992) in einer Bestandsaufnahme des Riegelahorns für Frankreich darlegen konnte. Da über Stockausschläge von Riegelahornen Hinweise auf die genetische Fixierung dieser Holzeigenschaft existieren (ARBOGAST 1992, VERGER & CORNU 1992), wird neuerdings versucht, durch vegetative Vermehrung dieses Merkmal züchterisch zu reproduzieren (EWALD et al. 2001). ARBOGAST (1992) weist auf die mit zunehmendem Durchmesserwachstum stärkere Riegelung hin. Damit wird ein Hinweis auf die Möglichkeit der Steuerung dieser Eigenschaften gegeben.

Drehwuchs tritt bei Esche und Berghorn nur selten auf (BALLEUX & MICHALOWSKI 1996). Eine Abhängigkeit der Faserneigung von Eschenholz von unterschiedlichen Behandlungsformen und speziell vom Radialzuwachs konnte von OLIVER-VILLANUEVA & BECKER (1993) sowie von QUER (1997) nicht nachgewiesen werden. Zusammenhänge zwischen Drehwuchs und Dimensions- sowie Zuwachsparemtern sind für den Bergahorn in der Literatur nicht bekannt. Lediglich VON WEDEL (1964) berichtet vom gelegentlichen Auftreten abnormer, meist rechtsgerichteter Faserneigungen.

Der Einfluss von Dimensions- und Zuwachsgrößen auf die **physikalischen Holzeigenschaften** von Esche und Ahorn wurde von zahlreichen Autoren untersucht. NEPVEU (1992) wies innerhalb einer sehr weiten Spreitung der **Jahrringbreite** von 1,5 bis 4,5 mm eine leichte Erhöhung der Holzdicke und damit der Festigkeitseigenschaften von Eschenholz nach. Auch KOLLMANN (1941), VON PECHMANN (1956), VON PECHMANN (1958), MAURER (1963) sowie LECLERCQ (1975) stellen durch einen größeren **Spätholzanteil** verbesserte Festigkeitseigenschaften bei größeren Durchmesserzuwachsen fest. LECLERCQ (1975) hält sogar Jahrringbreiten von unter 4,5 mm für ungenügend, um hohe Festigkeiten zu erzielen. Engringiges Eschenholz ist dagegen brüchig und spröde (VON PECHMANN 1958). Die holzanatomischen Hintergründe konnte bereits BOSSHARD (1951) offenlegen: die **Holzfasern** des Spätholzes sind wesentlich länger im Vergleich zu den Frühholzfasern. Mit zunehmender Jahrringbreite nimmt die durchschnittliche Länge der Holzfasern zu. Große Dickenzuwächse können sich aber auch nachteilig auf die Holzeigenschaften auswirken. OLIVER-VILLANUEVA & BECKER (1993) stellen mit steigenden Jahrringbreiten zunehmende **Quell- und Schwindmaße** mit negativen Folgen für die Maßhaltigkeit fest (ebenso QUER 1997). Eine Literatursauswertung von NEPVEU (1992) kann dies jedoch nicht bestätigen. LECLERCQ (1975) weist allerdings auf schlechtere Festigkeitseigenschaften ab sehr großen Jahrringbreiten von über 7 mm hin. Für Furnierzwecke ist bei Esche ungeachtet der Jahrringbreite in erster Linie ein gleichmäßiger Jahrringaufbau von Bedeutung (KOLLMANN 1941, LECLERCQ 1975). Eine Beeinflussung der für Eschenrundholz bedeutsamen Festigkeitseigenschaften kann also über den Dickenzuwachs zielgerichtet erfolgen.

⁵ Franz.: „érable à bois ocellé“: - seltene Holzzeichnung des Berg-, Spitz- und Feldhorn, verursacht durch kleine, kreisförmige, radiale Vertiefungen im hellen Ahornholz unter schlafenden Knospen ähnlich kleinen Vogelaugen.

⁶ Franz.: „érable ondulé, érable ondé“, Engl.: „wavy grain“, „fiddle back maple“ seltene Holzzeichnung des Berg-, Spitz- und Feldhorn, verursacht durch welligen Faserverlauf längs des Stamms (VON WEDEL 1964), (BUCUR 1992).

Untersuchungen zu Wachstumsparametern und den Auswirkungen auf Holzeigenschaften des Bergahorns sind seltener als bei Esche. Die Jahrringbreite kann beträchtlich variieren. VON WEDEL (1964) stellte unabhängig von der Jahrringbreite eine gleichbleibende **Holz-dichte** fest, und erklärt dies mit der Zerstreutporigkeit des Jahrringaufbaus. KELLER (1992) berichtet von Variationen der Schwindungsmaße zwischen juvenilem und adultem Holz, ohne jedoch dies auf Wachstumsparameter zurückführen zu können. Einflüsse des Standorts auf die Holzdicke und andere Festigkeitseigenschaften konnten nicht nachgewiesen werden (VON WEDEL 1964, NEPVEU & MADELESCLAIRE 1986). Damit besteht die Möglichkeit, ohne gravierende Veränderungen die Festigkeitseigenschaften das Wachstum des Bergahorns in einem weiten Rahmen der Jahrringbreite steuernd zu beeinflussen.

Auch **Exzentrizität, Ovalität und Geradschaftigkeit** sind qualitätsbestimmende Rundholzmerkmale. Insbesondere der Bergahorn weist häufig Schaftkrümmungen auf, ein Merkmal, das mit absterbenden Terminalknospen und Lichtwendigkeit in Zusammenhang gebracht wird (KJÖLBY et al. 1958, FAUST 1963, VON WEDEL 1964). QUER (1997) kann keine Zusammenhänge zwischen diesen Merkmalen und der waldbaulichen Behandlung bei Esche nachweisen. Vergleichbare Untersuchungen zum Bergahorn liegen bislang nicht vor. Durch den frühen Knospenaustrieb gilt die Esche als besonders anfällig für Schäden durch Spätfröste. Auch Fraßschäden verschiedener Insekten (z.B. *Prays fraxinellus* Don., *Stereonychus fraxini* De Geer) an der Terminalknospe von Eschen verursachen häufig eine unbefriedigende Geradschaftigkeit (LEMPÉRIÈRE & MALPHETTES 1983, HACKER 2001). In Gebieten mit starken Windbewegungen treten auch Beschädigungen der Triebspitzen und Knospen mit nachfolgenden Knicks und Krümmungen der Schaftachse auf (BINGGELI & BLACKSTOCK 1999).

Den genetischen Einfluss auf das Wachstum von Esche und Bergahorn dokumentieren verschiedene Versuche mit Provenienzen aus verschiedenen europäischen Ländern. KLEINSCHMIT et al. (1996) beobachtet signifikante Einflüsse der geografischen Breite auf das Höhenwachstum der Esche. Mit zunehmender geografischer Breite nimmt die Höhenwuchsleistung ab, während - bedingt durch den früheren Austrieb der Provenienzen - die Bildung von Zwieseln oder mehrfachen Leittrieben zunimmt. Neben diesen geografischen Trends lassen sich starke ökotypische (lokale) Differenzierungen der erhobenen Merkmale beobachten. In einem Herkunftsversuch mit Bergahornen ermittelte WEISER (1971) nach 6jähriger Versuchsdauer zwischen den Provenienzen keine signifikanten Unterschiede im Höhenwachstum, jedoch gesicherte Unterschiede in der Schaftform. Dagegen weisen CUNDALL et al. (1998) gesicherte Unterschiede im Höhenwachstum von Bergahornprovenienzen nach. Damit könnten sich prinzipiell Möglichkeiten zur Wachstumssteuerung durch die Auswahl geeigneter Provenienzen ergeben. Eine europäische Datenbank zur Erfassung von Herkunftsversuchen, auch von Esche und Bergahorn, befindet sich zurzeit im Aufbau (TUROK et al. 1996).

Der **Einfluss des Geschlechts** auf das Wachstum und sogar die Holzqualität der Esche wird nicht einheitlich beurteilt: Eschenblüten können zwittrig, einhäusig oder auch zweihäusig sein (ROHMEDE 1949, ROHMEDE 1952). Durch die Vielzahl dieser Erscheinungsformen ist für sie die botanische Bezeichnung dreihäusig zutreffend (ROLOFF 2001b). Während ROHMEDE (1949) und ROHMEDE (1952) bei Eschen mit nur

männlichen Infloreszenzen ein größeres Höhen- und Durchmesserwachstum als bei denjenigen mit weiblichen Blüten, d.h. bei den häufiger fruktifizierenden Eschen feststellen, übertreffen bei KNORR (1987) „die weiblichen die männlichen Eschen“ bis zum Alter 80 Jahre sogar geringfügig in ihrer Wuchsleistung. Geschlechtsbedingte Wachstumsunterschiede weisen auch REMPHREY et al. (1987) und DAVIDSON & REMPHREY (1990) an *Fraxinus pennsylvanica* nach. PICARD (1982) stellt lediglich fest, dass die Gruppe der wuchskräftigen Eschen nur wenige oder keine Früchte bildet. Nach GARFITT (1989) weisen „männliche Eschen“ durchgehend geradschaftigere Stämme und eine bessere Astreinigung auf.

Damit liegt ausreichendes Grundwissen zur wachstumkundlichen Steuerung des Wachstums von Esche und Bergahorn vor: anhand der baumartspezifischen Standortansprüche kann eine für die Wertholzproduktion angemessene Standortwahl erfolgen; auch grundlegende Holzeigenschaften beider Baumarten sind bekannt. Von besonderer Bedeutung für eine zielgerichtete Wachstumssteuerung sind bei der Esche das Risiko der Braunkernbildung sowie verbesserte physikalische Holzeigenschaften – mit Ausnahme der Schwindmaße – auch bei weitständigen Erziehungskonzepten. Auch bei Bergahorn ist mit guten Holzeigenschaften bei hohem Radialzuwachs zu rechnen.

1.2 STAND DER FORSCHUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die zielgerichtete Beeinflussung der Ästigkeit und der Schaftdimension ist für die Produktion von Wertholz besonders bedeutsam. Es ist jedoch auffallend, dass bislang Untersuchungen fehlen, die **die Dynamik der Astreinigung auf quantitativer Basis in Abhängigkeit von prägenden Einflussfaktoren** beschreiben. Auch zur zielgerichteten Steuerung der Dimensionsentwicklung des Schaftes sind bislang keine quantitativen Untersuchungen veröffentlicht. Zudem fehlt ein Transfer der Ergebnisse in Entscheidungshilfen, die an variablen Zielvorstellungen und flexibel einsetzbar für unterschiedliche Ausgangslagen ausgerichtet sind. Im Folgenden werden bislang verfügbare Ergebnisse im Einzelnen dargestellt und bewertet.

Die **Ästigkeit** stellt dabei eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale von hochwertigem Rundholz dar (EN1316-3). Dies gilt auch für die Baumarten Esche und Bergahorn (z.B. ACHTERBERG 1963, VON WEDEL 1964, OLIVER-VILLANUEVA 1993). Allerdings erfolgt oft keine Festlegung der Ziele hinsichtlich der astfreien Schaftlänge oder dem Ausmaß des asthaltigen Kerns im Schaft in vielen Forstbetrieben (THIES & HEIN 2000). Die Ästigkeit ist jedoch von grundlegender Bedeutung für die Güte von Rund- und Schnittholz (OLIVER-VILLANUEVA 1993). Astparameter von Schnittholz sind auch bei der Esche eng mit Festigkeitseigenschaften korreliert. Dabei tritt die Bedeutung der Jahrringbreite, des Spätholzanteils, der Faserneigung und der Kernbildung hinter diese Einflussgröße zurück (OLIVER-VILLANUEVA et al. 1996). Als Kenngrößen der inneren und äußeren Ästigkeit werden zumeist der astfreie Mantel oder asthaltige Kern, die Astanzahl und der Astdurchmesser verwendet. OLIVER-VILLANUEVA & BECKER (1993) weisen auf die zunehmende Astanzahl und Aststärke in Eschenrundholz mit zunehmender Höhe am Schaft hin. OLIVER-VILLANUEVA (1993) und QUER (1997) stellen bei Vergleichen von Eschen-

rundholz mit geringen (1,9 bis 2,4 mm) und größeren (2,9 bis 3,4 mm) Jahrringbreiten anhand von Astnarben eine größere äußere Ästigkeit am Kollektiv mit den geringeren Jahrringbreiten fest. QUER (1997) folgert daraus eine geringere Ästigkeit des Kollektivs mit dem größeren jährlichen Zuwachs. Dies steht in deutlichem Widerspruch zu Ergebnissen zur inneren Ästigkeit bei der Eiche (SPIECKER 1991), (NUTTO 1999). Zur Analyse dieses Zusammenhangs werden Parameter der äußeren und inneren Ästigkeit in die Untersuchung mit aufgenommen. Aus Provenienzversuchen zu Esche und Bergahorn geht hervor, dass die Ästigkeit auch durch die Wahl der Provenienz gesteuert werden kann (KLEINSCHMIT et al. 1996). Ein für Esche und Bergahorn wichtiger Aspekt der Ästigkeit ist die Zwieselbildung (VON WEDEL 1964). Nach Jahren besonders hoher Blühintensität kann eine verstärkte Bildung von Zwieseln beobachtet werden (KJÖLBY et al. 1958). Dies steht für Esche in guter Übereinstimmung mit Merkmalen der Kronenarchitektur, die durch die endständigen Infloreszenzen typisiert ist (ROLOFF 2001a). Bei Esche und Bergahorn wird wiederholt von Sekundärtrieb Bildung, d.h. Reiterationen, berichtet (BÜSGEN & MÜNCH 1928, DUFLOT 1995, FRANC & RUCHAUD 1996, ROLOFF 2001a). Die in der Regel aus proventiven Knospen entstehenden Sekundäräste sind bei Bergahorn deutlich an warzenartigen Rindenvorwölbungen zu erkennen (VON WEDEL 1964, FINK 1980). Da sich ihr Wachstum bis zum Mark zurückverfolgen lässt, wird gerade bei der Furnierherstellung ein unruhiges Furnierbild sichtbar. Dies ist für spätere Verwendungen unerwünscht. VON WEDEL (1964) findet an Bergahorn vermehrte Sekundärastbildung mit sinkender sozialer Klasse und zunehmendem Baumalter. ROLOFF (2001a) erwähnt vermehrtes Austreiben schlafender Knospen an absterbenden Ahornen, FRANC & RUCHAUD (1996) Sekundärastbildung nach plötzlicher Freistellung von Eschen ohne allerdings eine weitere Quantifizierung seiner Beobachtungen. Obwohl Sekundärtriebe sortierungstechnisch wie Primäräste behandelt werden und deshalb die Holzqualität stark beeinflussen, liegen dazu zurzeit weder für Esche noch für Bergahorn quantitative Untersuchungen vor.

Die Steuerung der **Dimensionsentwicklung** kann nicht isoliert von der Astreinigung gesehen werden. Auch die Anzahl der Bäume im Endbestand und die Produktionsdauer stehen in engem Zusammenhang mit der angestrebten Zieldimension. Nach Angaben von THIES & HEIN (2000) schwanken in Forstbetrieben die Ziele hinsichtlich des Schaftdurchmessers von Bergahorn und Esche mit 40 bis 60 cm nur in geringem Maße (s. auch KERR & EVANS 1993, PILARD-LANDEAU & LE GOFF 1996, HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1999). Dagegen unterscheiden sich Vorstellungen zur Produktionszeit, in der bestimmte Zieldimensionen erreicht werden sollen, zwischen den Forstbetrieben sehr stark und nehmen Extremwerte von 50 bis 150 Jahren an. Diese Zieldimensionen sollen mit unterschiedlicher Baumzahl im Endbestand erreicht werden: während die Vorgaben des Office National de Forêt (Frankreich) für die Baumart Esche 60 Bäume/ ha vorsehen, geben andere Forstbetriebe in Europa bis zu 300 Eschen pro Hektar bei vergleichbarem Zieldurchmesser und nur wenig unterschiedlichen Produktionszeiträumen vor (THIES & HEIN 2000). Unklar bleibt bislang, in welchem quantitativen Zusammenhang die Dimensionsentwicklung mit der Dynamik der Astreinigung, der Baumzahl im Herrschenden und der Produktionszeit steht.

Zusätzlich fehlen bislang Untersuchungen, die auf breiter Datengrundlage und in Form von zielorientierten Pflegestrategien wachstumskundliche Möglichkeiten zur Steuerung der

Dimensionsentwicklung von Esche und Bergahorn darstellen. In wachstumskundlichen Arbeiten zu Esche und Bergahorn vom Anfang des 20. Jahrhunderts wurden zahlreiche und sehr verschiedenartige Pflegekonzepte und Wachstumsmodelle für diese Baumarten entwickelt (vgl. Tabelle 1-1:). Während frühe Modelle das Wachstum entsprechend dem **Ertragstafelkonzept** zumeist bestandesweise betrachten und lediglich beschreiben, rückt erst neuerdings vermehrt das Wachstum des einzelnen Baumes in den Blickpunkt. Im Ertragstafelkonzept wird lediglich das Wachstum einer Baumart in der Regel im Reinbestand in Abhängigkeit vom Standort und einer über die gesamte Wachstumszeit homogenen Durchforstungsstärke beschrieben. WIMMENAUER (1918), WIMMENAUER (1919a), WIMMENAUER (1919b) und ZIMMERLE (1942) konstruierten erste Eschen-ertragstafeln ausgehend von Beständen in Hessen und Württemberg/ Deutschland. Für Südkandinavien wurden Ertragstafeln von CARBONNIER (1947) und MØLLER & NIELSEN (1959) für Esche und von KJØLBY et al. (1958) für Bergahorn bearbeitet. Ausgehend von den Verhältnissen in Norddeutschland stellte von VOLQUARDTS (1958) eine Eschen-ertragstafel für Schleswig-Holstein auf, die aber auch darüber hinaus in den Hilfstabellen zur Forsteinrichtung Anwendung findet (z.B. Baden-Württemberg/ Deutschland, Niederlande). Die Wachstumsverhältnisse in Großbritannien wurden mit den "Forest Management Tables" von HAMILTON & CHRISTIE (1971) nachgezeichnet; deren Geltungsbereich beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Esche, sondern dehnt sich auch auf Bergahorn, Spitzahorn und Birke aus. Produktionsziele wurden dabei jeweils nicht formuliert.

Produktionsprogramme als Weiterentwicklungen von Ertragstafeln geben Zielvorstellungen - beispielsweise bezüglich der angestrebten Zieldurchmesser vor - , bleiben jedoch im Bereich der individuellen Ausgangslage der Bestände auf eine oder wenige Wachstumssituationen beschränkt. Sie unterscheiden sich von Ertragstafeln durch Empfehlungen zur Wachstumssteuerung entsprechend einer zuvor deklarierten und konkreten Zielkombination, verlangen jedoch eine Ausgangslage, die exakt den Vorgaben des Produktionsprogramms entspricht. So kann beispielsweise mit einer Baumzahlleitkurve ein Produktionsziel hinsichtlich Stabilität und Dimensionsentwicklung angestrebt werden, dem Anwender werden jedoch keine Hinweise gegeben, wie der Zustand des vorliegenden Bestandes dem entsprechenden Entwicklungsstand des Musterbestandes angenähert werden kann (z.B. THILL 1975, SCOHY 1990a, SCOHY 1990b, PILARD-LANDEAU & LE GOFF 1996). Weicht also die Ausgangslage des konkreten Bestandes von den Eingangsdaten des Produktionsprogramms hinsichtlich Durchmesserentwicklung oder Astreinigung ab, fehlen die Handlungsalternativen für eine zielgerichtete Wachstumssteuerung. Damit können sich Produktionsprogramme nur teilweise flexibel an unterschiedliche Ausgangslagen zur Wachstumssteuerung anpassen.

Tabelle 1-1: Bisherige wachstumskundliche Untersuchungen in Europa zu Esche und Bergahorn: Ertragstafeln (ET), Produktionsprogramme (P). Ziel- und zustandsorientierte Entscheidungshilfen zur Wachstumssteuerung sind zur Zeit noch nicht vorhanden.

Esche			
Autoren	Ausgangslage	Zielvorstellungen	Material und Messungen
(WIMMENAUER 1919B)	2 relative Standortsklassen, Rein- und Mischbestände; ET	keine –	Deutschland (Großherzogtum Hessen), 25 Ertragsversuchsflächen
(ZIMMERLE 1942)	2 relative Höhenbonitäten, ET	nur Wachstumsbeschreibung, Ertragstafel,	Deutschland (Württemberg), 12 Versuchsflächen
(CARBONNIER 1947)	2 absolute Höhenbonitäten, Rein- und Mischbestände, ET	keine Angaben zur zielgerichteten Steuerung	Schweden (Südschweden), 15 Versuchsflächen
(MØLLER & NIELSEN 1959)	4 relative Höhenbonitäten, Rein- und Mischbestände, ET		Dänemark: 23 perm. und 142 temp. Versuchsflächen, Schweden: 4 Flächen (wie Carbonnier 1947)
(VOLQUARDTS 1958) ⁷	2 relative Höhenbonitäten, Rein- und Mischbestände, ET		Deutschland (Schleswig-Holstein), 49 perm. Versuchsfelder, 35 Weiseraufnahmen, 169 temp. Versuchsfelder
(HAMILTON & CHRISTIE 1971)	5 Ertragsklassen, ET		Großbritannien, für Esche-Bergahorn-Birke
(SOPP 1974) ⁸	6 relative Ertragsklassen, ET		Ungarn -
(THILL 1975)	P, -	Zieldimension: z.B. $u_{1,3} = 220$ cm	Belgien (diverse Versuchsparzellen) incl. BAH
(KOVÁCS 1986)	6 relative Ertragsklassen, Reinbestände, ET	keine – s.o.	Ungarn, 84 Versuchsflächen
(SCOHY 1990b)	Empfehlung für Sto. bei Wertholzproduktion, P	Zieldimension: $u_{1,3} = 200$ cm Astreinigung: 7 – 8 m, Formschnitt, Ästung	Belgien (Wallonien)
(PILARD-LANDEAU & LE GOFF 1996)	2 relative Höhenbonitäten, P	Zieldimension: $d_{1,3} = 40-60$ cm, bzw. $d_{1,3} = 60-70$ cm Astreinigung: 6 – 8 m	Frankreich (Nord-Ost Frankreich)
Bergahorn			
(KJÖLBY et al. 1958)	5 relative Ertragsklassen, Reinbestände, ET	keine – s.o.	Dänemark
(NAGEL 1985)	3 relative Ertragsklassen, Reinbestände, ET	keine – s.o.	Deutschland (Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz)

Das Problem der mangelnden Orientierung am Ist-Zustand versuchen **ziel- und zustandsorientierte Wachstumsmodelle** zu beheben. Solche Wachstumsmodelle zeichnen sich

⁷ Zugleich Grundlage für die Eschenertragstafel der Niederländischen Ertragstafelsammlung (JANSEN et al. 1996).

⁸ Zugleich Grundlage für die Eschenertragstafel der Ertragstafelsammlung der Österreichischen Bundesforsten (STERBA 1976)

durch die Berücksichtigung unterschiedlichster Ausgangslagen der Bestandessituation sowie variabler Zielvorstellungen bei Datenerhebung und Modellformulierung aus. Sie sind zumeist auf das Wachstum des Einzelbaums ausgerichtet. Beispielhaft dafür wurden Untersuchungen von SPIECKER (1991) zu Eiche vorgelegt. **Die bislang für Esche und Bergahorn im europäischen Raum vorliegenden wachstumskundlichen Untersuchungen genügen diesen Anforderungen an eine wachstumskundliche Entscheidungshilfe jedoch noch nicht.**

Die in den vergangenen Jahren in Europa entwickelten neuen Pflegemodelle für Esche, Bergahorn oder allgemein Edellaubbäume zeichnen sich zudem durch verschiedene Entwicklungsrichtungen aus, für die im Folgenden Beispiele angeführt werden: unter dem Eindruck geänderter ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen werden **Pflegemodelle zunehmend extensiv** gestaltet (s. u. a. MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG 1999). Unter dem Druck hoher Kosten für die Bestandesbegründung und ihrer Festlegung in langen Produktionszeiträumen werden **weitständige Pflanzverbände** favorisiert (s. u. a. ARMAND 1995). Der Trend zu weitständigen Pflegekonzepten äußert sich bis hin zum Interesse am Wachstum von Solitären (z.B. HASENAUER et al. 1994) und der Konzeption von Agroforestry-Modellen (CABANETTES et al. 1999). Zugleich lassen sich mit weitständigen Pflegemodellen **kurze Produktionszeiträume** formulieren und schneller gewünschte Zieldimensionen erreichen.

Mit sehr weitständiger Bestandesbegründung und verkürzten Produktionszeiträumen verbunden ist die Frage nach der Dynamik der **natürlichen Astreinigung und der Ästung**. Obwohl die Ästigkeit eine der wichtigsten qualitätsbestimmenden Rundholzeigenschaften darstellt, integrieren nur wenige Arbeiten die Auswirkungen des Pflegemodells auf die natürliche Astreinigung. Während in einigen europäischen Ländern das Thema Ästung bereits frühzeitig rege von der Praxis diskutiert wurde (s. u. a. SOUTRENON 1991), HUBERT & COURRAUD 1994, DUFLOT 1995), rückt es in anderen dagegen gerade erst in das forstliche Blickfeld (s. u. a. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1999). Da Esche und Bergahorn in naturnaher Forstwirtschaft überwiegend gemischt auftreten, wird auch die Berücksichtigung von **Mischungsarten und – formen** von Belang. Während Strukturuntersuchungen zu Mischbeständen mit Esche, Buche und Bergahorn häufig sind (z.B. HOFMANN 1922, VAN MIEGROET 1956, ERTELD 1959, ZÜGE 1986, NÜBLEIN 1995, URBINATI & DE CILLIA 1995), fehlen Pflegekonzepte zur ziel- und zustandsorientierten Wachstumssteuerung, anwendbar auf Mischbestände, völlig.

Bisherige Entscheidungshilfen zur Wachstumssteuerung berücksichtigen diese neuen Entwicklungsrichtungen noch nicht. Es bedarf zudem einer Überprüfung der relevanten Wachstumsgesetzmäßigkeiten in ebensolchen Wachstumssituationen.

1.3 ZIELSETZUNG

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines **wachstumskundlichen Modells zur Steuerung von Astreinigung und Dickenwachstum für Esche und Bergahorn**. Dabei sollen die zugrundeliegenden Wachstumsgesetzmäßigkeiten auf quantitativer Basis beschrieben werden. Die gegenseitige Beeinflussung von Astreinigung und Dickenwachstum wird verdeutlicht. Für den Themenbereich Astreinigung wird eine Klärung der waldwachstumskundlichen Zusammenhänge zur Entwicklung der Kronenansatzhöhe, der astfreien Schaftlänge und inneren Ästigkeit angestrebt. Zusätzlich soll auf der Ebene des einzelnen Astes eine Analyse der Astlängen- und Astdurchmesserentwicklung sowie der Astüberwallung erfolgen. Das Auftreten von lebenden Sekundärästen wird ergänzend untersucht. Im Themenbereich Dickenwachstum wird ein Schwerpunkt auf die Kronenbreitenentwicklung gelegt, und deren Dynamik für Bestandesbäume und Solitäre untersucht. Zusätzlich wird eine Analyse des Dickenwachstums von Solitären angestrebt.

Im **Baumartenvergleich** zwischen Esche und Bergahorn werden Wachstumsunterschiede aufgezeigt. Die Ergebnisse sollen zu **wachstumskundlichen Entscheidungshilfen** weiterentwickelt werden, die in einer breiten Palette von waldbaulichen Ausgangssituationen und Zielsetzungen Anwendung finden können. Schwerpunkt der Untersuchungen liegt dabei auf den einzelbaumbezogenen Wachstumsgesetzmäßigkeiten und weniger auf flächenbezogenen Untersuchungen. Diese Entscheidungshilfen sollen praxisnahe Grundlagen für Entscheidungen von Waldbesitzern und Verantwortlichen in Forstbetrieben sein.

Die vorliegende Untersuchung soll sich gegenüber bisherigen Arbeiten zu Pflegekonzepten von Esche und Bergahorn durch folgende Besonderheiten unterscheiden:

- (1) Konstruktion **einfacher, wachstumskundlicher Modelle** zur Darstellung von Wachstumsgesetzmäßigkeiten, die für die Wertholzproduktion von Belang sind.
- (2) Modellierung des **baumartspezifischen Wachstums** von Esche und Bergahorn und deren Abbildung in Wachstumsmodellen/ Entscheidungshilfen auf quantitativer Basis. Eventuell vorhandene Unterschiede in den Wachstumsgesetzmäßigkeiten zwischen beiden Baumarten sollen deutlich gemacht werden.
- (3) Aufbau von **Entscheidungshilfen** als Umsetzung wachstumskundlicher Modelle zur zielgerichteten Wachstumssteuerung von Esche und Bergahorn in der forstbetrieblichen Praxis.

Zusätzlich wurde eine Datenerhebung in verschiedenen europäischen Ländern angestrebt. Dies wurde aus der Tatsache heraus notwendig, dass durch die unterschiedlichen Waldbautraditionen in den Ländern Europas (vgl. BARRET & HOLMSGAARD 1964, SAVILL & SPILSBURY 1991, KERR 1996) Messungen in nur einem Land nicht zu der angestrebten breiten Basis des Datenmaterials hinsichtlich Wachstumsgeschwindigkeit, Produktionszielen und Standort geführt hätten.

Das **Ziel dieser Arbeit ist es jedoch nicht** sagen zu können, auf diese oder jene Weise werde in einzelnen Teilen Europas Esche und Bergahorn bewirtschaftet. Dazu hätte es eines systematischen und auf strenge räumliche Repräsentativität ausgerichteten Inventurdesigns

bedurft. Auch gehört es nicht zu den Zielen der Arbeit eine „optimale“ Form der Bewirtschaftung festzulegen. Dies muss entsprechend den individuellen Betriebszielen vor Ort erfolgen. Eine solche Vorgabe entspricht zudem nicht der gebotenen wissenschaftlichen Neutralität.

1.4 ARBEITSHYPOTHESEN

Zur besseren Durchführbarkeit wurden die Ziele dieser Arbeit in Arbeitshypothesen konkretisiert. Diesen zentralen Arbeitshypothesen folgt auch die Gliederung der nachfolgenden Kapitel.

- (1) Die **Dynamik der Astreinigung** von Esche und Bergahorn lässt sich mit einfachen wachstumskundlichen Modellen beschreiben. Damit lässt sich auch die innere Ästigkeit als **Qualität der Astreinigung** ausreichend genau modellieren, wie sich durch Messungen an überwallten Ästen bestätigen lässt.

Detailhypothesen:

- Die Höhenentwicklung von Esche und Bergahorn lässt sich mit einer Wachstumsfunktion beschreiben (Kapitel 4.1.1 und Kapitel 4.1.2).
- Die Ansatzhöhe der Baumkrone, die astfreie Schaftlänge sowie die innere Ästigkeit kann durch baum- sowie astbezogene Wachstums- und Größenparameter beschrieben werden (Kapitel 4.2.1 und 4.3.1 für Bestandesbäume, Kapitel 4.2.3 und 4.3.3. für Solitäre).
- Die Ansatzhöhe der Baumkrone in verschiedenen Sektoren am Schaft ist zwischen Bäumen unterschiedlicher Durchmesserentwicklung und Kronenform verschieden (Kapitel 4.2.2).
- Das Längenwachstum der Primäräste folgt Wachstumsgesetzmäßigkeiten, geprägt durch die Konkurrenz der Nachbarbäume, aber auch durch das Alter des Baumes (Kapitel 4.4.1 und 4.4.2 für Bestandesbäume, Kapitel 4.4.5 für Solitäre).
- Der asthaltige Kern im Bereich von überwallten Ästen kann anhand von Dimensionsgrößen des überwallten Astes und Wachstumsgrößen des Baumes geschätzt werden (Kapitel 4.4.3).
- Die Überwallungsdauer natürlich abgestorbener oder geästeter Primäräste folgt bestimmten wachstumskundlichen Gesetzmäßigkeiten (Kapitel 4.4.4).
- Die Überwallung nach Ästung folgt prinzipiell vergleichbaren Wachstumsgesetzmäßigkeiten wie nach natürlicher Astreinigung. Sie ist jedoch gegenüber der natürlichen Astreinigung wesentlich verkürzt (Kapitel 4.5).
- Das Auftreten von lebenden Sekundärästen lässt sich beschreiben durch baumbezogene Wachstums- und Größenparameter (Kapitel 4.6).

- (2) Das **Dickenwachstum sowie der Zusammenhang zwischen Dickenwachstum und Kronenbreite** von Esche und Bergahorn folgen Gesetzmäßigkeiten, die in einfachen

wachstumskundlichen Modellen beschrieben werden kann. Die statistischen Zusammenhänge können für eine zielgerichtete Wachstumssteuerung verwendet werden.

Detailhypothesen:

- Die Kronenbreite und ihre Entwicklungsdynamik kann durch verschiedene baumbezogene Wachstums- und Größenparameter beschrieben werden (Kapitel 5.1.1 für Bestandesbäume, Kapitel 5.1.3 für Solitäre).
 - Es besteht möglicherweise ein Einfluss des Standorts sowie weiterer Einflussgrößen auf das Kronenbreitenentwicklung (Kapitel 5.1.2).
 - Der jährliche Dickenzuwachs von Bestandesbäumen und Solitären kann durch den Standraum sowie Standraumveränderungen beschrieben werden (Kapitel 5.2.1 und 5.2.2).
 - Der jährliche Dickenzuwachs von Solitären folgt einem baumalters- und auch standortsabhängigen Rhythmus (Kapitel 5.2.3).
- (3) Die Dynamik von Astreinigung und Durchmesserentwicklung kann in einfache, praxisnahe **wachstumskundliche Entscheidungshilfen** umgesetzt werden. Die Entscheidungshilfen können in einer an verschiedenen Ausgangslagen und Zielvorstellungen ausgerichteten Form dargestellt werden (Kapitel 6.1 für Astreinigung und Kapitel 6.2 für das Dickenwachstum, Kapitel 6.3 für Produktionsziele).

Ausgehend von den hier geschilderten Zielsetzungen und Arbeitshypothesen wird im Folgenden die angewandte Methodik dargelegt und begründet.

2 METHODEN

In den vorangehenden Abschnitten wurde der aktuelle Wissenstand im Hinblick auf die Wachstumssteuerung von Esche und Bergahorn dargestellt. Im Vordergrund standen dabei zunächst die Grundlagen der Wachstumssteuerung, danach der aktuelle Kenntnisstand zur Astreinigung und zum Dickenwachstum. Anschließend wurde auf die Frage eingegangen, in welcher Form bislang quantitative Beschreibung von Wachstumsabläufen oder Entscheidungshilfen für eine an Zielen ausgerichtete Wachstumssteuerung vorliegen.

Im Folgenden wird aufbauend auf den Zielsetzungen der Arbeit und ihren Arbeits-hypothesen die methodische Vorgehensweise dargelegt, mit der die angestrebten Untersuchungsziele erreicht werden sollen. Zunächst werden die Forschungsansätze für die zentralen Themenbereiche Astreinigung, Dickenwachstum sowie die Formulierung von Entscheidungshilfen erläutert. Danach werden die Anforderungen an das Untersuchungsmaterial, dann die Datenerhebung auf den Aufnahmeflächen, am stehenden oder am liegenden Baum dargestellt und jeweils Querbezüge zu den Untersuchungszielen deutlich gemacht. Überlegungen zur Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs sowie zum Ablauf der Auswertungsschritte schließen die Präsentation der angewandten Methodik ab.

2.1 FORSCHUNGSANSÄTZE

2.1.1 Allgemeiner Forschungsansatz

Die **wissenschaftstheoretische Vorgehensweise** dieser Arbeit folgt einem induktiven Ansatz. Ausgehend von beispielhaften Untersuchungen zu den Eichenarten (SPIECKER 1991, NUTTO 1999) sollen im vorliegenden Fall vergleichbare Gesetzmäßigkeiten⁹ für die Baumarten Esche und Bergahorn untersucht werden. Darüber hinaus werden weitere Problemstellungen bearbeitet, entsprechend den in Kapitel 1.3 beschriebenen Ziele und Besonderheiten. Der wissenschaftliche Untersuchungsprozess orientiert sich dabei an der von POPPER (1994) dargestellten Vorgehensweise mit Hypothesenbildung in zunächst allgemeiner, dann mathematischer Formulierung und Überprüfung der Hypothesen mit – gegebenenfalls – Falsifizierung und Hypothesenänderung.

Wachstumssteuerung an Bäumen findet immer in einem gegebenen Rahmen von Umweltbedingungen statt. Eine zielorientierte Wachstumssteuerung wird diejenigen Umweltbedingungen zur Prognose des Wachstums besonders beachten, die für die Zielerreichung als besonders einflussreich angesehen werden. Die Datengrundlage zur Beschreibung der Dimensions- und Zuwachsgrößen kann prinzipiell auf zweierlei Weise erhoben werden. Die verschiedenen Wachstumssituationen können entsprechend einem ex post, das heißt **retrospektiven Ansatz** im Nachhinein erhoben werden oder in einem experimentellen Ansatz mit dem Aufbau eines wissenschaftlichen Versuchs. Da wegen der

⁹ Als Gesetzmäßigkeiten werden im Folgenden quantitative, theoriegestützte und verallgemeinerbare Beziehungen zwischen wachstumskundlichen Phänomenen verstanden. Da sich diese gegenseitig überlagern und nicht immer im Ganzen absehbare Einflüsse auftreten können, werden diese Beziehungen im Unterschied zu Gesetzen im Folgenden „Gesetzmäßigkeiten“ genannt (PRETZSCH 2001).

Langlebigkeit der Bäume ein experimenteller Ansatz in der vorliegenden Arbeit nicht umsetzbar ist, wurde der retrospektive Ansatz gewählt. Damit kann auch dem Bedürfnis nach frühzeitigen Ergebnissen zu einer aktuellen Problemstellung Rechnung getragen werden. Dieser Ansatz wurde insbesondere für die Untersuchungen des Höhenwachstums und der Verlagerung des Kronenansatzes anhand von Überwallungsmessungen angewandt. Wo ein zeitliches Nacheinander nicht rekonstruiert werden konnte, musste auf unechte Zeitreihen zurückgegriffen werden (z.B. Entwicklung der Kronenbreite). Die zeitliche Abfolge wurde durch ein räumliches Nebeneinander nach dem **Wuchsreihenprinzip** (MAGIN 1963), oder space-for-time substitution nach PICKETT (1989) ersetzt. Die zugrundeliegende Annahme, wonach die relevanten Umweltbedingungen und die entscheidenden Eigenschaften des Untersuchungsobjektes vergleichbar sind, stellt jedoch eine im Einzelfall oft nur schwer zu erfüllende Voraussetzung dar (SPIECKER et al. 1996).

Der **Forschungsansatz zur Beschreibung und Prognose der Astreinigung und des Dickenwachstums** versucht zwei sich gegenseitig intensiv beeinflussende Wachstumsprozesse in Wachstumsmodellen¹⁰ abzubilden. Beide Wachstumsvorgänge stellen die Grundlage für wichtige Zielgrößen in der Holzproduktion (Qualität und Dimension) dar. Standort, Standraum und sonstige Einflussfaktoren wirken sich als **Einflussfaktoren** auf diese Wachstumsvorgänge aus (Abbildung 2-1:).

Grundsätzlich wird der Standort als prägend für das Höhenwachstum und die Astreinigung angenommen. Der Standraum wirkt sich dagegen hauptsächlich auf das Dickenwachstum aus. Entsprechend werden **die grundlegenden statistischen Modelle** formuliert: das Höhenwachstum als Ausdruck der Bonität eines Standorts, die Astreinigung als Ergebnis von Standraumveränderungen und des Standorts sowie das Dickenwachstum, beschrieben durch Veränderungen des Standraums.

Als **Zielgrößen** stehen dabei der Zieldurchmesser und die astfreie Schaftlänge im Zentrum der Aufmerksamkeit. Durch die Zeitbedingtheit des Wachstums und die Gebundenheit an eine produzierende Fläche können damit auch die Anzahl der Z-Bäume/ ha und der Produktionszeitraum berechnet werden. Alle vier Größen stehen in einem strengen Abhängigkeitsverhältnis zueinander (Abbildung 2-1:). Dies ermöglicht eine gegenseitige Berechnung. Weitere Zuwachs- und Dimensionskennwerte können davon abgeleitet werden. Aufbauend auf diesen Modellen können nach Produktionszielen und Ausgangszuständen variable **Entscheidungshilfen** präsentiert werden, die mit unterschiedlichen Eingangsgrößen formuliert werden.

Die vorliegenden Wachstumsmodelle basieren im Gegensatz zu prozessorientierten Modellen nicht auf biologisch-physiologischen oder physikalischen Vorgängen und beanspruchen damit keinen Erklärungscharakter (SLOBODA & PFREUNDT 1989). Als **kleinste Informationseinheit gilt der Einzelbaum** mit verschiedenen Dimensions- und Zuwachsparametern. Aussagen zum Wachstum von Beständen können damit nur eingeschränkt und nur über einen summarischen Ansatz erfolgen. Die Vorhersage des Einzelbaumwachstums erfolgt **distanzunabhängig** allein aus den Dimensions- und

¹⁰ Ein Modell im hier verwendeten Sinne beschreibt lediglich eine Auswahl von Elementen der Realität mit ihren Eigenschaften und Wirkungszusammenhängen. Es beansprucht damit diesbezüglich keine Vollständigkeit der Abbildung der Realität, sondern nur der Teile, die für das angestrebte Modellziel notwendig sind (SPIECKER 1974).

Zuwachsparemern des Baumes beziehungsweise durch Dimensionrelationen zu seinen Nachbarn (vgl. WYKOFF et al. 1982).

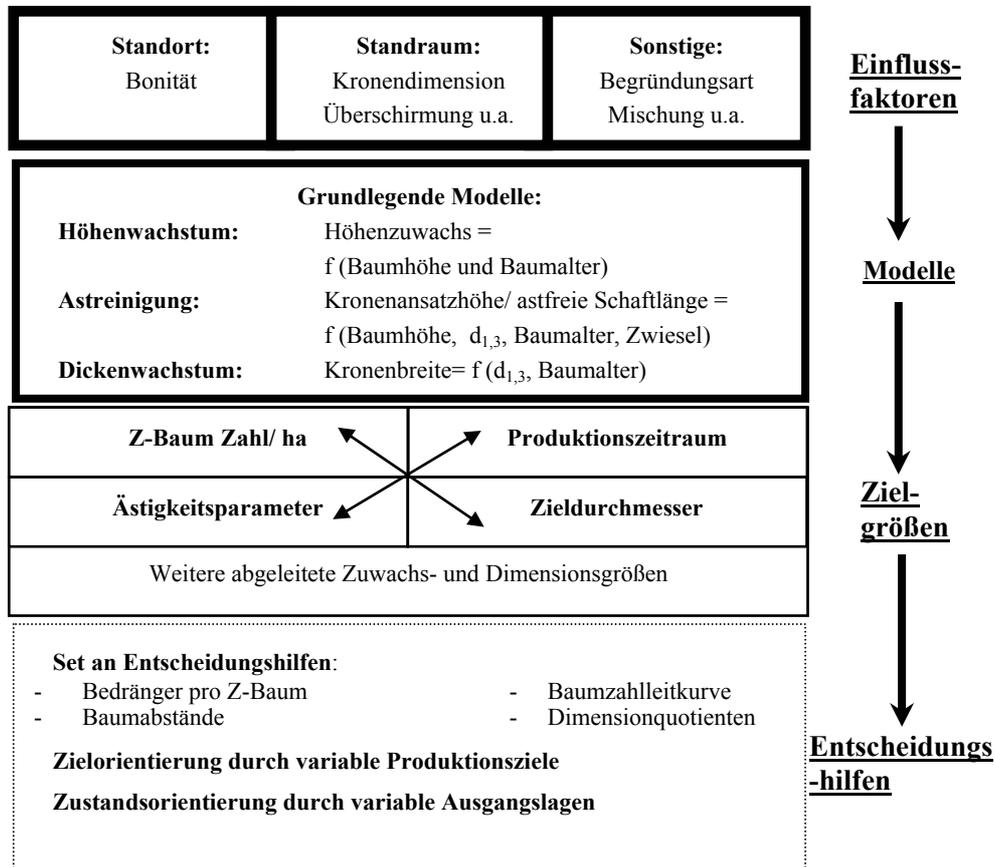


Abbildung 2-1: Einflussfaktoren, grundlegende Modelle und Zielgrößen des Forschungsansatzes sowie Abbildung der Ergebnisse in waldwachstumskundlichen Entscheidungshilfen.

Das Modell soll das Wachstum von Einzelbäumen in **Rein- und Mischbeständen** vorhersagen und als Entscheidungshilfe für forstbetriebliche Entscheidungen anwendbar sein. Zusammenfassend lässt sich das hier präsentierte Wachstumsmodell zur Steuerung der Astreinigung und des Dickenwachstums bei Esche und Bergahorn als „**einzelbaumorientiertes Wachstumsmodell auf empirischer, quantitativer Grundlage für Rein- und Mischbestände**“ klassifizieren.

Im Folgenden werden die Forschungsansätze zur Astreinigung und zum Dickenwachstum vorgestellt. Dabei wird auch auf die Formulierung der fünf grundlegenden Gleichungen zum Höhenwachstum, der Kronenansatzhöhe, der astfreien Schaftlänge und der Kronenbreitenentwicklung eingegangen. Weitere, weniger zentrale Modelle werden direkt in den Kapiteln 4 und 5 präsentiert.

2.1.2 Forschungsansatz zur Astreinigung

Das vorliegende Konzept zur Steuerung der Astreinigung basiert auf zwei grundlegenden Wachstumsmodellen: dem Höhenwachstumsmodell und dem Astreinigungsmodell.

Das **Höhenwachstum** von Esche und Bergahorn verläuft nach dem typischen Muster einer Baumart mit sehr früher Kulmination des Höhenzuwachses. Da dieses Merkmal insbesondere in Mischbeständen eine wichtige Voraussetzung zur baumartspezifischen Wachstumssteuerung ist und das Höhenwachstum als grundlegend für die Dynamik der Astreinigung angenommen wird, erfolgt zunächst eine Modellierung dieses Wachstumsverlaufs.

Grundsätzlich lässt sich das Höhenwachstum einer Baumart durch verschiedene Funktionstypen darstellen. Soll die Modellfindung jedoch theoriegeleitet erfolgen, reicht eine einfache Darstellung mittels Polynomen höheren Grades nicht mehr aus. Entsprechend der Theorie, nach der das Höhenwachstum nach einer Startphase mit niedrigem Zuwachs in eine Phase der Zuwachskulmination übergeht und danach sich standortstypisch einem Maximalwert nähert (sigmoide Wachstumskurve, vgl. ASSMANN (1961), MITSCHERLICH (1978), erscheint demnach ein Modell auf der Grundlage der e-Funktion geeignet.

Nach CLUTTER et al. (1983) lassen sich mathematisch hergeleitete Höhenwachstumsmodelle in drei Modellgruppen zusammenfassen: Leitkurvenmodelle, Differenzialgleichungsmodelle und das Modell zur Parameterschätzung. SLOBODA (1971) und GOELZ & BURK (1992) stellen einen Anforderungskatalog für Höhenwachstumsmodelle zusammen. Während das Leitkurvenmodell auf einfachen Kalkulationsalgorithmen beruht und somit schnell berechnet werden kann, erfüllt es die von ASSMANN (1961) geforderte Maximumverschiebung des Höhenzuwachses in Abhängigkeit vom Standort nicht. Daraus entstehende Gleichungssysteme sind daher lediglich anamorph. Differenzialgleichungen und Parameterschätzmodelle können dieses Kriterium erfüllen und ergeben deshalb polymorphe Kurvenformen. Die Prozeduren zur Berechnung der Gleichungsparameter sind jedoch aufwändiger und ihre Interpretation bedarf größerer Sorgfalt. Neue Modelle zur Nachbildung des Höhenwachstums basieren auf basisalterfreien Gleichungssystemen (z.B. PAYANDEH & WANG 1994). Ältere Höhenwachstumsmodelle für Esche und Bergahorn wurden meist grafisch - gutachtlich erstellt¹¹ (z.B. WIMMENAUER 1918, WIMMENAUER 1919a, WIMMENAUER 1919b). Höhenwachstumsmodelle auf mathematisch-statistischer Basis sind neueren Ursprungs (z. B. LE GOFF 1982). Da das von SLOBODA (1971) vorgeschlagene Differenzialgleichungsmodell die meisten der in GOELZ & BURK (1992) geforderten Kriterien an Höhenwachstumsmodelle erfüllt, dazu eine Anwendung neueren Datums für Bergahorn von NAGEL (1985) vorliegt und auf einer relativ einfachen Formulierung basiert, wurde in dieser Arbeit auf dieses Modell zurückgegriffen (Gleichung 1). Über Gleichung 2 kann für freiwählbare, absolute Höhenbonitäten die Baumhöhe für ein gewünschtes Alter berechnet werden. Das über die Stammanalyse abgeleitete modellhafte Höhenwachstum wird anhand von Längenmessungen der jährlichen Höhentriebe entlang der Stammachse überprüft.

¹¹ Ein Überblick über die bisher in Europa zu Esche und Bergahorn entwickelten und dokumentierten Höhenwachstumsmodelle wird in Kapitel 6.3.1 gegeben.

$$\text{Gleichung (1)} \quad \frac{\Delta h_B}{\Delta a_B} = ih(a_B) = \frac{bh_B}{a_B^a} \cdot \ln \frac{c}{a_B}$$

$$\text{Gleichung (2)} \quad h_B = c \cdot \left(\frac{Bon}{c} \right) \cdot e^{\frac{-b}{(a-1) \cdot 100^{(a-1)}} + \frac{b}{(a-1) \cdot a_B^{(a-1)}}$$

ih	= Höhenzuwachs
h _B	= Baumhöhe
a _B	= Baumalter
Bon	= Absolute Höhenbonität (z.B. 30 m)
a, b, c	= Parameterschätzer

Die **Astreinigung** wird unter mehreren Aspekten untersucht. Die Verlagerung des Kronenansatzes (Ansatzhöhe des ersten grünen, vom Boden aus sichtbaren Primärastes) wird in Abhängigkeit von der Entwicklung der Baumhöhe, des Baumalters, des Brusthöhendurchmessers, sowie in Abhängigkeit vom Auftreten eines Zwiesels (Gleichung 3) beschrieben. Ebenso wird die astfreien Schaftlänge (Ansatzhöhe des ersten abgestorbenen oder noch lebenden, vom Boden aus sichtbaren Primärastes) in Abhängigkeit von diesen unabhängigen Variablen (Gleichung 4) modelliert.

$$\begin{aligned} \text{Gleichung (3)} \quad h_{Kr} &= a \cdot h_B + b \cdot d_{1,3} + c \cdot a_B + d \cdot \text{Zwiesel} + \\ &\quad e \cdot (\text{Interaktion Zwiesel mit } h_B, d_{1,3} \text{ oder } a_B) \\ \text{Gleichung (4)} \quad l_{astfrei} &= a \cdot h_B + b \cdot d_{1,3} + c \cdot a_B + d \cdot \text{Zwiesel} + \\ &\quad e \cdot (\text{Interaktion Zwiesel mit } h_B, d_{1,3} \text{ oder } a_B) \end{aligned}$$

h _{Kr}	= Höhe des Kronenansatzes [m]
l _{astfrei}	= Astfreie Schaftlänge [m]
h _B	= Baumhöhe [m]
d _{1,3}	= Brusthöhendurchmesser [cm]
a _B	= Baumalter [J]
Zwiesel	= Auftreten eines Zwiesels (Werte: 0, 1)
a, b, c, d, e	= Parameterschätzer

Zusätzliche Größen wie beispielsweise Astparameter (z.B. Zwiesel, Steiläste), werden hinsichtlich ihres Einflusses auf die dargestellten Zusammenhänge überprüft. In weiteren Untersuchungen werden Detailfragestellungen untersucht: dazu wird auf die Kronenform sowie auf die Höhe des Kronenansatzes in verschiedenen Höhen am Schaft eingegangen, zusätzlich auch auf das Astwachstum, die Überwallungsdynamik von Ästen aus natürlicher Astreinigung und Ästung sowie auf das Auftreten von lebenden Sekundärästen.

Mit der Kenntnis der Dynamik der Astreinigung und Annahmen zur Schaftform kann die **innere Ästigkeit** des Schaftes in verschiedenen Schaft Höhen berechnet werden. Dabei interessiert die Breite des asthaltigen Kerns beziehungsweise die Breite des astfreien Mantels. Sowohl zur Schaftform der Esche wie der des Bergahorn wurden umfangreiche

Untersuchungen von DAGNELIE et al. (1999) und IN et al. (1972) durchgeführt. Diese dienten als Grundlage für die Berechnung der Schaftdurchmesser in der Ansatzhöhe des ersten Primärastes (lebend oder tot). Bei diesen Autoren war der Schaftumfang in verschiedenen relativen Schafthöhen in Abhängigkeit von Höhe und Durchmesser des Baumes formuliert worden. Deshalb mussten diese Werte in Durchmesserangaben und in absolute Höhen am Schaft umgeformt werden. Die Berechnung der Abholzigkeit wurde in 0,5 m Schritten für astfreie Schaftlänge von 1,3 m bis 15 m jeweils neu berechnet. Die Abholzigkeit wurde aus rechentechnischen Gründen zur Vereinfachung als Prozent pro Laufmeter astfreier Schaftlänge im Bezug zum Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe dargestellt (Tabelle 2-1:). Die Berechnung erfolgte getrennt nach Höhenbonitäten.

Tabelle 2-1: Relative Abholzigkeiten pro Laufmeter astfreier Schaftlänge im Bezug zum Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe für die Berechnung der inneren Ästigkeit in verschiedenen Schafthöhen. Beispiel Esche: Höhe 36 m im 100 Jahren, durchschnittliche Radialzuwächse in 1,3 m Schafthöhe von 3 und 4 mm (Auswahl). Berechnet aus DAGNELIE et al. (1999).

Höhe amSchaft [m]	Relative Abholzigkeit im Bezug zum Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe [%/ lfm], durchschnittlicher $ir_{1,3} = 3 \text{ mm}$	Relative Abholzigkeit im Bezug zum Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe [%/ lfm], durchschnittlicher $ir_{1,3} = 4 \text{ mm}$
1,3	0,0 %	0,0 %
3,0	6,0 %	5,4 %
4,5	4,8 %	4,6 %
6,0	4,3 %	3,8 %
7,5	3,7 %	3,3 %
9,0	3,6 %	2,9 %
10,5	3,2 %	2,6 %
12,0	2,9 %	2,2 %
13,5	2,7 %	2,1 %
15,0	2,4 %	2,0 %

Analog wurde die Berechnung der Schaftform für einen Baum durchgeführt, der einen gewünschten Zieldurchmesser in verschiedenen Produktionszeiten erreicht hat. Die aus anderen Untersuchungen bekannte größere Abholzigkeit schneller erwachsener oder stark freistehender Bäume (z.B. BURGER 1951, LARSON 1963) wird durch die Modelle von DAGNELIE et al. (1999) und IN et al. (1972) bestätigt: beispielsweise ergeben sich bei Eschen mit einem Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe von 60 cm für Radialzuwachsvarianten von 2 bis 5 mm in zu einer Schafthöhe von 15 m Unterschiede in den Schaftdurchmessern von 3,5 cm.

Tabelle 2-2: Ergebnisse der Regressionsanalyse zwischen dem Durchmesser in 1,3 m und 0,3 m Schafthöhe im gemeinsamen Modell für Esche und Bergahorn, *= signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$, $N = 1829$.

Variable	Parameterschätzer	Standardfehler des Schätzers	Bestimmtheitsmaß: r^2 Esche und Bergahorn
	Esche und Bergahorn	Esche und Bergahorn	
Interzept	0,945*	0,165	-
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	1,227*	0,005	0,97* adj.: 0,97

Getrennt davon wurde der Durchmesser des Schaftes in 0,30 m Höhe aufgrund des im vorhandenen Datenmaterial gefundenen Zusammenhangs zwischen dem Schaftdurchmesser in 1,3 m und 0,3 m Höhe berechnet (Tabelle 2-2:). Ein Einfluss der Baumart auf den Zusammenhang wurde nicht gefunden.

2.1.3 Forschungsansatz zum Dickenwachstum

Das **Dickenwachstum** ist eng mit der Entwicklung der Kronenbreite verbunden. Arbeiten zu verschiedenen Baumarten belegen dies: z.B. DAWKINS (1963) zu tropischen Baumarten, SAVILL (1991) zu zahlreichen Laub- und Nadelbaumarten und (NUTTO & SPIECKER (2000) zur Eiche. Die Kronenbreite wird deshalb als vom Brusthöhendurchmesser und dem Baumalter abhängige Variable modelliert (Gleichung 5). Dabei soll kein physiologisch begründeter Zusammenhang dargestellt werden - danach hätte der Brusthöhendurchmesser als Funktion der Kronenbreite dargestellt werden müssen - sondern eine Modellformulierung, die die spätere Konstruktion einer Entscheidungshilfe erleichtert.

Als weitere mögliche Einflussfaktoren auf das Dickenwachstum und die Kronenexpansionsfähigkeit werden der Standort sowie der Radialzuwachs, Mischung, Begründungsart und Betriebsart überprüft. Anhand der Messungen der jährlichen Radialzuwächse und Jahrringbreiten soll die Dynamik des Dickenwachstums für Bäume nach Freistellung, für verschiedene soziale Klassen, sowie von Solitären untersucht werden.

$$\text{Gleichung (5)} \quad b_{Kr} = a \cdot d_{1,3} + b \cdot a_B$$

b_{Kr} = Kronenbreite [m]

$d_{1,3}$ = Schaftdurchmesser in 1,3 m Schafthöhe,
Brusthöhendurchmesser [cm]

a_B = Baumalter [J]

a, b = Parameter

Auf den waldwachstumskundlichen Gesetzmäßigkeiten bauen die **Entscheidungshilfen** zur Steuerung der Astreinigung und des Dickenwachstums auf. Die Entscheidungshilfen

sollen einfach gestaltet sein. Es werden in Tabellenform die in den kommenden 5 Jahren¹² zu entfernenden Bedränger pro Z-Baum (s. u. a. KLÄDTKE 1992, SPIECKER 1991), zusätzlich Baumzahllleitkurven (vgl. THILL 1975) sowie Baumabstände und Dimensionsquotienten (vgl. ARMAND 1995) als ein Set von Entscheidungshilfen vorgestellt.

2.2 AUSWAHLKRITERIEN

Entsprechend den in Kapitel 1.3 aufgeführten Zielsetzungen erfolgte die Auswahl des Untersuchungsmaterials aus einer breiten Vielfalt an Ausgangslagen. Es wurde dabei eine große Spreitung der Messwerte für die Parameter Brusthöhendurchmesser und Kronenbreite, Baumhöhe, Höhe des ersten lebenden und ersten toten Primärastes, Baumalter, Höhenbonität und Durchmesserzuwachs angestrebt. Um die Auswahl der Untersuchungsflächen an den Zielen der Untersuchung auszurichten, wurde die Entscheidung für die Aufnahme einer Untersuchungsfläche an folgende **Auswahlkriterien** gebunden:

Standort:

- Geeignet zur Wertholzproduktion von Esche und Bergahorn, Höhenbonität besser als 20 m im Alter von 100 Jahren.
- Große Standortsspreitung, besonders bei Wasser- und Nährstoffversorgung, auch Relief, Höhenlage, Hangneigung, Exposition.
- Verschiedene geografische Lagen in Europa.

Pflegekonzepte:

- Unterschiedliche Formen der Bestandesbegründung (z. B. Naturverjüngung, verschiedene Pflanzverbände).
- Untersuchungsmaterial aus einer breiten Vielfalt von Pflegekonzepten (z. B. weitständige Erziehung, Mittelwald, natürliche Astreinigung, Ästung).
- Aufnahme von Untersuchungsflächen in Mischbeständen mit unterschiedlicher Mischungsart (speziell von Esche und Bergahorn).

Sonstige Anforderungen:

- Keine Messungen an Orten mit unklaren Einflussfaktoren wie beispielsweise Bestandesränder, Rückegassen, Insektenschäden, Fäule.
- Wenn möglich Messungen auf bestehenden Versuchsfeldern zur Nutzung weiterer Standorts- und Bestandesunterlagen.
- Gute Dokumentation der Untersuchungsfläche in forstbetrieblichen Unterlagen.

Hinsichtlich der wichtigsten Dimensions- und Wachstumsgrößen wurde folgende Spannweite des Datenmaterials angestrebt (Tabelle 2-3:):

¹² Die zu entnehmenden Bedränger pro Z-Baum können für variable Zeiträume berechnet werden: z.B. SPIECKER (1991) für 10 J.

Tabelle 2-3: Angestrebte Spannweiten ausgewählter Dimensions- und Zuwachsgrößen der zu messenden Eschen und Bergahorne.

	angestrebte Spannweite
Baumhöhe: [m]	2 – 40
Astfreie Schaftlänge: [m]	bis 20
Kronenbreite: [m]	bis 20
Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe: [cm]	bis 80
Durchschnittlicher Radialzuwachs: [mm]	1 – 10
Baumalter: [J]	5 – 150
Höhenbonität (Höhe im Alter 100 J): [m]	≥ 20

Innerhalb der ausgewählten Untersuchungsflächen mussten die Bäume weiteren Kriterien genügen. Dies waren insbesondere: keine gravierenden Schaftbeschädigungen durch Überflutung, Fällung oder Stammfäule und starker Schiefstand durch Windeinwirkung. Ebenso durften auf der Untersuchungsfläche keine Bäume mit Kronen- und Insekten-schäden vorkommen. Leichte Schädigungen führten nicht zum Ausschluss der Bäume, wurden aber in den Aufnahmeunterlagen festgehalten. Über diese Kriterien hinaus wurden spezielle Anforderungen an **Solitäre**¹³ gestellt. Der Einzelbaum sollte den überwiegenden Teil seiner Lebensspanne konkurrenzfrei erwachsen sein, der Kronenansatz sollte auf 100 % des Stammumfangs unter 5 m Höhe¹⁴ am Schaft liegen. Es wurde dabei versucht, keine Solitäre sehr schlechter Standorte einzubeziehen, sondern den Waldstandorten vergleichbare Standorte zu wählen. Baumindividuen, die ähnlich dem Habitus von Weidfeldbäumen waren (SCHWABE & KRATOCHWIL 1987), wurden - soweit dies von außen erkenntlich war - wegen der eventuell veränderten Relationen von Schaft- und Kronendurchmesser auf Grund ihrer polykornen Jugendphase nicht in die Untersuchung miteinbezogen.

2.3 DATENERHEBUNG AUF DEN AUFNAHMEFLÄCHEN

2.3.1 Lagemarkierung und geografische Koordinaten

Die großräumige geografische Lage der Bestände wurde mit Hilfe von Straßenkarten und Karten der zuständigen Forstbetriebe dokumentiert. Die **Lage** der Aufnahmeflächen wurden mit einem Magnetring, der in einem Meter Entfernung vom Zentralbaum in Nordrichtung im Boden versenkt wurde, dauerhaft auffindbar markiert¹⁵. Von diesem Punkt

¹³ Damit sollte die Solitärdefinitionen anhand von quantitativen Merkmalen leichter erfassbar sein. Allgemeine Definitionen qualitativer Art wurden von KRAJICEK et al. (1961), HASENAUER (1997) sowie von BURSCHEL & HUSS (1997) verwendet.

¹⁴ Dies Grenze stellt eine willkürliche Festlegung dar. Für die Detailuntersuchung an Solitären wurde mit 5 m astfreier Schaftlänge auf 100 % des Stammumfangs bewusst ein niedriger Wert festgelegt. Damit sollten nur allseitig wirklich weitgehend konkurrenzfrei aufgewachsene Solitäre Aufnahme in das Untersuchungsmaterial finden.

¹⁵ Dieser Punkt wurde mit der Versenkung in den Boden unsichtbar markiert, um einer besonderen Bewirtschaftung vorzubeugen.

der Aufnahmeflächen wurden die **geografischen Koordinaten** mit einem GPS-Gerät¹⁶ in Grad, Minuten und Sekunden ermittelt. Zusätzlich wurde die Lage in großmaßstäbige Karten eingezeichnet, und besonders bei verstreut liegenden Einzelbäumen, eine Wegskizze und eine Wegebeschreibung angefertigt.

Sämtliche Außenaufnahmen wurden von Dezember 1997 bis Sommer 2001 durchgeführt. Die Vermessung der überwallten Äste sowie die Stammscheibenpräparation, -lagerung und -vermessung im Labor des Instituts für Waldwachstum wurden bis September 2002 abgeschlossen.

2.3.2 Standortkundliche Daten

Angaben zum **Standort** wurden den Ergebnissen der örtlichen Standortkartierung, Versuchsflächenunterlagen oder aktuellen Forsteinrichtungswerken entnommen. Fehlten diese Informationen, wurde der forstliche Standort einschließlich **Relief, Höhenlage** und **Höhenstufe** nach einem einfachen Schlüssel, angelehnt an die standortkundliche Terminologie, selbst bestimmt (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1996). Dabei wurden die **Bodenart, Wasserhaushaltsstufe, die Nährstoffausstattung** und fallweise sonstige lokal besondere bedeutsame Merkmale wie beispielsweise das Ausgangsgestein, der Humusgehalt oder der Skelettgehalt erfasst. Zusätzlich wurde der **Bodentyp** festgehalten. Lag eine räumliche Gliederung nach **Wuchsgebieten** vor, wurden entsprechende Informationen übernommen, anderenfalls wurden **Landschaften** zur großräumigen Einordnung verwendet. Als einfacher Indikator für die klimatischen Umweltbedingungen wurde das **langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur und der Niederschlagssumme**, wie auch der Grad der **Kontinentalität** aus den örtlichen Forsteinrichtungsunterlagen übernommen. Die **Exposition** wurde mit einer Handbussole¹⁷ in Altgrad erfasst. In der Ebene wurde „keine Exposition“ festgehalten. Die **Hangneigung** wurde in Altgrad auf 1° genau gemessen. Die Standorte der Solitäre wurden zusätzlich anhand der Merkmale der Standortfaktoren in die Kategorien „überdurchschnittlich“, „mittel“ und „unterdurchschnittlich“ eingeteilt. Dabei wurden Standorte der Wasserhaushaltsstufe „frisch“, sowie „mäßig frisch bis frisch“ und „mäßig frisch“ bei sehr guter Nährstoffausstattung und hohen Jahresdurchschnittsniederschlägen der Kategorie „überdurchschnittlich“ zugeordnet. Standorte der Wasserhaushaltsstufe „mäßig frisch“, „mäßig trocken bis mäßig frisch“ der Kategorie „mittel“ und „mäßig trockene“ sowie „trockene“ Standorte in die Kategorie „unterdurchschnittlich“ eingestuft. In Grenzfällen wurde auch die Bodenart, das Ausgangssubstrat und die Nährstoffausstattung mit berücksichtigt.

2.3.3 Begründungsform, Betriebsart und Mischung

Die Unterscheidung der Aufnahmeflächen nach der **Begründungsform** eröffnet die Möglichkeit, das Wachstum der Bäume auch unter diesem Blickwinkel zu untersuchen. Dazu wurde die Form der Begründung nach **Naturverjüngung** oder **Pflanzung** erfasst. Im

¹⁶ Modelltyp: Hand-GPS, GPS12XL Garmin, Gerätegenauigkeit: 15 m, gewähltes Referenzsystem: WGS-84.

¹⁷ Modell SUUNTO Optical Reading Clinometer PM-5.

Falle der Pflanzung wurde der Pflanzverband aus der Bestandesdokumentation übernommen.

Die Waldbewirtschaftung lässt sich nach BURSCHEL & HUSS (1997) nach den **Betriebsarten Hochwald, Mittelwald und Niederwald** unterscheiden. Zur Untersuchung solcher Wachstumssituationen wurden auch Eschen und Bergahorne aus Mittelwäldern oder mittelwaldartigen Bewirtschaftungsformen ausgewählt.

Zur Überprüfung der baumartspezifischen Gesetzmäßigkeiten der Astreinigung und des Dickenwachstums **in Rein- und Mischbeständen** erfolgten auch Messungen in Mischbeständen. Dazu wurden zunächst die Bestände aus Forsteinrichtungsunterlagen ausgewählt, die nach den dortigen oft sehr unterschiedlichen Definitionen als Mischbestände ausgewiesen waren. Für die vorliegenden Messungen wurden diejenigen Untersuchungsflächen als Mischbestände gekennzeichnet, bei denen weniger als 20 % der Kronenschirmfläche der aufgenommenen Bäume aus der Oberschicht einer anderen als der im konkreten Fall dominierenden Baumart angehörten. Da aber im Laufe der Zeit zum Beispiel im Zuge von Durchforstungen aus einem Mischbestand auch ein Reinbestand entstehen kann, wurde als Entscheidungsgrund für eine Zuordnung die überwiegende Zeitdauer der Rein- oder Mischbestandsituation gewählt¹⁸.

2.4 DATENERHEBUNG AM STEHENDEN BAUM

2.4.1 Baumverteilungspläne, Kronenablotung und Überschirmungsgrad

Im **Bestand** wurde die Lage der Einzelbäume mit Hilfe eines **Baumverteilungsplans** dokumentiert. Dazu wurde ausgehend vom Zentralbaum mit den Polarkoordinaten Winkel und Entfernung die Lage jedes einzelnen hauptständigen Baumes, des Unterstandes und der Stöcke ermittelt. Die Winkelmessung erfolgte mit einer Bussole, die Abstände zwischen den Bäumen wurden mit Distanz- und Winkelmessgerät FORESTOR VERTEX¹⁹ gemessen. Als Referenzhöhe für die Bestimmung der Lage der einzelnen Objekte Stock und Baum wurde 1,3 m verwendet. An jedem der 25 in einer Untersuchungsfläche zusammenstehenden Bäume wurde eine **Kronenablotung** zur Integration einer Kronenkarte in den Baumverteilungsplan durchgeführt. Die Ablotungspunkte wurden in variablen Winkeln an Eckpunkten der Krone gesetzt, um die Kronenform und damit die aktuelle Konkurrenzsituation besser nachvollziehen zu können. Dabei wurden nach RÖHLE & HUBER (1985) 8 Ablotungspunkte pro Baum als ausreichend genau angesehen. Die Ablotungspunkte wurden jeweils an die Kronenperipherie gesetzt. Zum einen wird durch die Ablotung mit nur 8 Fluchtstäben eine Grenze bei der Berücksichtigung einzelner Äste gesetzt, zum

¹⁸ Aus diesem Grunde wurde die Untersuchungsfläche ES_11 mit Esche als einziger Baumart im Herrschenden, eine von drei aufgenommenen Versuchsflächen der CEMAGREF/ Frankreich) den Mischbeständen zugeordnet. Erst drei Jahre vor der Aufnahme wurde die Schwarzerle als einzige Mischbaumart vollständig entfernt. Diese Bäume waren über die Hälfte ihrer Lebenszeit hinweg seit der Begründung in einer Mischungssituation aufgewachsen.

¹⁹ Digital Hypsometer FORESTOR VERTEX Type 2, Haglof AB Sweden

anderen könnte eine Berücksichtigung solcher Äste mit wahrscheinlich geringer Nettoassimilationsleistung auch zu einer Überschätzung der Kronenschirmfläche führen, die sich nicht im Zuwachs an Biomasse des Baumes widerspiegelt. Einzelne Äste, die extreme Ausbuchtungen verursachten und eher der Schattkrone zuzuordnen waren, wurden deshalb gedanklich eingekürzt. Durch die gegenseitige Überlappung der Baumkronen können Doppelt- und Mehrfachüberschirmungen auftreten. Dieses Phänomen kann in Reinbeständen, aber auch in Mischbeständen von Esche, Bergahorn und Buche auftreten und dort ein wesentliches Merkmal der Wachstumsdynamik sein (NÜBLEIN 1995). Eine Kronenablotung, die auch in Mischbeständen durchgeführt soll, darf also nicht nur den Teil der Krone berücksichtigen, der offen zum Kronendach exponiert ist, sondern auch die sich mit den Baumnachbarn überlappenden Teile. Es wurden nur Bäume abgelotet, bei denen wenigstens ein Teil der Krone am Kronenschirm teilnahm. Die Ablotung erfolgte in allen Beständen mit Hilfe eines Neigungsmessers mit Senkrechtmarkierung. Zustand durchgeführt. Abbildung 2-2: zeigt einen Stammverteilungsplan mit Kronenkarte für einen Bergahorn-Eschen Mischbestand.

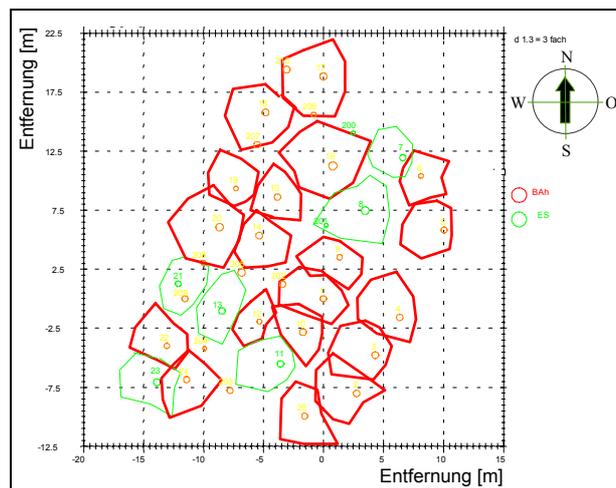


Abbildung 2-2: Beispiel eines Stammverteilungsplans und einer Kronenkarte (Bergahorn-Eschen-Mischbestand „AH_04“), **Signatur:** Esche: hellgrau, Bergahorn: dunkelgrau.

Die Kronenablotungen wurden grundsätzlich im unbelaubten Zustand vorgenommen. Lediglich Messungen an Solitären und 4 Untersuchungsflächen²⁰ erfolgten aus organisatorischen Gründen im noch belaubten Zustand. Hinsichtlich der Kronenablotungen wurde diesem Umstand Rechnung getragen, indem die langen Blattspreiten der Esche nicht in die Ablotung der Kronenperipherie einbezogen wurden. Mit den Messungen im unbelaubten Zustand kann damit die Kronenablotung durch das fehlende Eigengewicht der Blattmasse die Kronenschirmfläche unterschätzen, was zur Annahme tendenziell kleinerer Kronen führen kann. Da jedoch Doppelt- und Mehrfachüberschirmungen im belaubten

²⁰ Dies waren die Untersuchungsflächen ES_09, ES_10, ES_11 und AH_04 sowie Rh01 und Sp01.

Zustand schwer erkennbar sind, und zudem nur im Winter der Holzeinschlag von verwertbaren Holzsortimenten durchführbar ist, wurden die Messungen im unbelaubten vorgenommen. Die Berechnung des Überschirmungsgrades erfolgte untersuchungsflächenweise anhand der Summe der Kronenschirmflächen und einer Referenzfläche, die die Kronenschirmflächen der Bäume der jeweiligen Untersuchungsfläche umfasste (vgl. NUTTO 1999). Zur Bestimmung des Überschirmungsgrades wurden eventuell vorhandene Mehrfachüberschirmungen nicht getrennt berücksichtigt. Diese Berechnungsergebnisse wurden vom Institut für Waldwachstum übernommen. Eine detaillierte methodische Beschreibung findet sich bei THIES (2004).

2.4.2 **Brusthöhendurchmesser und Stockdurchmesser, soziale Klasse sowie Bohrkerngewinnung und Baumalter**

Der **Brusthöhendurchmesser** wurde in 1,3 m Schafthöhe mit einem Umfangmaßband bestimmt. Die **Stockdurchmesser** der stehenden Bäume wurden bis zu einem Durchmesser von 60 cm in 30 cm Höhe durch zwei zueinander senkrecht stehende Messungen mit einer Kluppe ermittelt, über dieser Schwelle mit dem Umfangmaßband erfasst. Die **Vermessung von Stöcken** wurde auf gleiche Weise durchgeführt, zusätzlich jedoch die Stockhöhe gemessen und als Stockalter die seit der Fällung vergangene Anzahl der Jahre bestimmt.

Am einzelnen Baum wurde die **soziale Klasse** nach KRAFT (1884) erhoben. An Bäumen der sozialen Klasse 5 wurde lediglich Baumart, Lage, Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser aufgenommen. Eschen und Bergahorne der Klasse 4 nach KRAFT, deren Kronen keinen Anteil mehr am Kronenschirm hatten, wurden in die weiteren Messungen nicht miteinbezogen.

Da die Mehrzahl der Solitäre meist aus landschaftsgestalterischen Gründen nicht gefällt werden konnte, wurden **Bohrkerne** in 1,3 m Schafthöhe entnommen. Dazu wurde jeweils ein Bohrkern aus dem Bereich des maximalen Durchmessers und des minimalen Durchmessers entnommen. Wurde das Mark nicht getroffen, wurde keine zusätzliche Bohrkernentnahme durchgeführt. Da aus den Bäumen mit Stammscheiben in 0,3 m und 1,3 m Schafthöhe die durchschnittliche Differenz der Jahrringanzahl zwischen beiden Scheibenentnahmehöhen bekannt war, konnte nach einer Analyse der Differenz hinsichtlich beeinflussender Faktoren die Anzahl der Jahrringe in 0,3 m Schafthöhe und damit auch das **Baumalter** der Solitäre für die Referenzhöhe 0,3 m berechnet werden.

Aus dem halben Brusthöhendurchmesser und dem Baumalter wurde der „**durchschnittliche Radialzuwachs**“ berechnet. Dabei wurde der halbe Brusthöhendurchmesser mit Rinde, sowie das Baumalter bezogen auf 0,3 m Höhe am Schaft verwendet. Es wurde dabei unterstellt, dass sich die damit verbundene leichte Überschätzung des durchschnittlichen Radialzuwachses sowie die Unterschätzung des tatsächlichen Keimalters gegenseitig weitgehend ausgleichen. Von dieser Größe getrennt zu sehen sind der „**jährliche Radialzuwachs**“ und die „**Jahrringbreite**“ aus der Vermessung von luftgetrockneten Stammscheiben und Bohrkernen (vgl. Kapitel 2.5.3).

2.4.3 Baumhöhen, Kronenansatz, Totastansatz, Zwiesel und lebende Sekundäräste

An jedem der 25 Bäume der Kraft'schen Klasse 1 bis 3 wurden die Baumhöhe, die Ansatzhöhe des ersten grünen Primärastes (**Kronenansatz**) sowie des ersten toten vom Boden aus sichtbaren Primärastes (**unterster Totast**) gemessen. Die Messung von Kronenansatz und Totastansatz wurde für jeweils vier Quadranten durchgeführt, wobei sich der erste Quadrant nach Norden öffnete. Die Nummerierung der verbleibenden drei Quadranten 2 bis 4 erfolgte im Uhrzeigersinn. Für jeden Quadranten wurde der Kronenansatz und - soweit vorhanden - die Ansatzhöhe des untersten vom Boden aus sichtbaren Totastes bestimmt. Äste auf der Quadrantengrenze wurden dem jeweils im Uhrzeigersinn vorhergehenden Quadranten zugeordnet. Sämtliche Höhenmessungen erfolgten mit dem Distanz- und Winkelmessgerät FORESTOR VERTEX. Es wurde auch die Ansatzhöhe von **Zwieseln** notiert. Als Zwiesel wurden Verzweigungen der Schaftachse angesehen, bei denen der vom Boden aus beurteilte Durchmesserunterschied zwischen Schaftachse und Ast nicht größer als 50 % ist. (vgl. NINGRE 1997). Ansatzwinkel fanden in dieser Beurteilung keinen Eingang, da sich frühzeitig herausstellte, dass Winkelschätzungen vom Boden aus zum einen starken Fehlschätzungen unterliegen andererseits stark abhängig von der Position des Gutachters sind. Das Auftreten von **lebenden Sekundärästen** wurde vom Boden aus nach Längen- und Häufigkeitsklassen dokumentiert. Die Abgrenzung zu toten Sekundärästen erfolgte durch das Rindenbild, die mit dem Austrocknen auftretende Krümmung und dem Vorhandensein von abgebrochenen Astteilen. Da angenommen wurde, dass eine in größerem Ausmaß die Holzqualität beeinflussende Wirkung überwiegend von den lebenden Sekundärästen ausgeht und im Verlauf der Vorerkundungen nur wenige tote Sekundäräste vorzufinden waren, konzentrierten sich die Messungen auf die lebenden Sekundäräste. Dabei wurde zwischen Längen von unter einem Meter und mindestens einem Meter unterschieden. Für jede Längensklasse wurden Häufigkeitsstufen gebildet: Einzelzählung bis 10 Stück: Stufe 1, 11 bis 20 Stück: Stufe 2, 21 bis 30 Stück: Stufe 3, usw.. Ab 50 lebenden Sekundärästen erfolgte keine weitere Aufgliederung in Häufigkeitsstufen mehr. Auffallende **Besonderheiten** von Einzelbäumen (zum Beispiel Kronenschäden, Rindenverletzungen, Schiefstand) wurden, soweit sich diese nicht schon durch die Auswahl der Untersuchungsfläche vor Beginn der eigentlichen Messungen ausschließen ließen, separat notiert.

2.5 DATENERHEBUNG AM LIEGENDEN STAMM

2.5.1 Stammscheibenentnahme, Höhenanalyse und Astanalyse

Von den 25 Bäumen pro Aufnahmefläche wurden jeweils **zwei Bäume zur Fällung** vorgesehen. Dabei wurde in Reinbeständen jeweils ein Baum der Kraft'schen Klasse 1 (alternativ 2) und 3 (alternativ 2) als Gegensatzpaar entnommen. In Mischbeständen wurde je ein vorherrschendes oder herrschendes Individuum von Esche und Bergahorn (und gegebenenfalls von Buche) ausgewählt. Jeder zur Fällung vorgesehene Baum sollte von

abgeloteten Nachbarn umgeben sein. Bei großkronigen Einzelbäumen (Esche und Bergahorn) aus Bestandessitationen wurden an den sehr zahlreichen Nachbarn mit kleinerer Krone aus Gründen der Zeiteffizienz nur Baumart, Lage, Baumhöhe und Brusthöhen-durchmesser bestimmt.

Zur Rekonstruktion des Höhenwachstums wurde eine **Stammanalyse** durchgeführt. Dazu wurde eine Stockscheibe in 30 cm und eine Scheibe in 1,3 m Höhe am Schaft²¹ entnommen. Weitere Scheiben wurden in 5 m Abständen am Schaft entnommen, zusätzlich eine unterhalb des Kronenansatzes und drei Scheiben in der Krone. Je nach Baumhöhe stand damit eine unterschiedliche Anzahl von Stammscheiben zur Verfügung. Soweit Quirle sichtbar waren, wurden die Stammscheiben in der Mitte zwischen zwei Quirlen entnommen. Damit wurde die Korrektur der Scheibenentnahmehöhen zur Berechnung der tatsächlichen jährlichen Baumhöhen nach Gleichung 6 entsprechend der Vorgehensweise von CARMEAN (1972) und NEWBERRY (1991) ermöglicht. Als Verlauf des Schaftes in der Krone wurde bis in die Kronenspitze der jeweils stärkste Ast als **Schaftachse** verwendet.

Für die Berechnung der Datengrundlage, die zum Aufbau eines Höhenbonitätsfächer verwendet werden sollte, wurden aus den jährlichen Baumhöhen siebenjährige gleitende Mittel der Höhenzuwächse berechnet, um kurzfristige witterungsbedingte Zuwachsschwankungen abzdämpfen (vgl. NAGEL 1985).

Gleichung (6)

$$h_{ij} = h_i + [(h_{i+1} - h_i)/(r_i - r_{i+1})]/2 + (j - 1)[(h_{i+1} - h_i)/(r_i - r_{i+1})]$$

h_{ij} = berechneter Höhenzuwachs für das Jahr j auf der Basis der Stammscheibe i

h_i = Entnahmehöhe der i -ten Stammscheibe

r_j = Anzahl der Jahrringe auf der i -ten Stammscheibe

j = Nummer des Jahrrings (beginnend mit dem innersten Jahrring), $j = 1, 2, \dots, r_i$

Anhand der zwei gefällten Bäume pro Untersuchungsfläche konnte das **Baumalter** ermittelt werden. Dazu erfolgte die Auszählung der Jahrringe auf den Stockscheiben, die in 0,3 m Höhe am Schaft entnommen wurden. In den Fällen, in denen die Stockscheibe nicht in 0,3 m Höhe am Schaft entnommen werden konnte, wurde anhand der Jahrringdifferenz zwischen der Stockscheibe und der Scheibe in 1,3 m Brusthöhe die Anzahl der Jahrringe für eine in 0,3 m Schafthöhe entnommene Scheibe abgeleitet. Für den Fall, dass keine Fällung durchgeführt werden durfte, wurde das Baumalter aus den Forsteinrichtungsunterlagen beziehungsweise den Dokumenten der Versuchsflächen übernommen²². Bei

²¹ An insgesamt 22 (ES: 2, BAH: 20) der 234 gefällten Bäume konnte auf Grund des absehbar hohen Wertes des Erdstammstückes (Furnierware) keine Scheibe in Brusthöhe entnommen werden. Für weitere Auswertungen wurde in diesen Fällen auf die jeweils nächstgelegene Scheibe zurückgegriffen.

²² Dies geschah bei den Untersuchungsflächen ES_17 sowie AH_08, AH_09 mit Teilflächen (jeweils Versuchsflächen), auf der wegen Nutzungsüberlegungen des Waldbesitzers keine Fällung zum Zeitpunkt der Untersuchung durchgeführt werden konnte.

Untersuchungsflächen aus Naturverjüngung wurde vereinfachend das Alter der jeweils zwei gefälltten Bäume als aussagekräftig für alle Bäume dieser Fläche angenommen²³.

Nach der Fällung wurden die Triebblängen- und Stammanalyse sowie die Entnahme der überwallten Äste durchgeführt. Mit der **Triebblängenanalyse** an Ästen und entlang der Schaftachse sollte das vertikale Kronenexpansionspotenzial des Baumes in Abhängigkeit vom Baumalter bestimmt werden. Das Triebblängenwachstum von Esche und Bergahorn kann auf Grund der winterlichen Ruhephase und der Ausbildung von quirlähnlichen Bereichen am Schaft über die Triebbasisnarben retrospektiv ermittelt werden (ROLOFF 2001a). Der Triebblängenzuwachs wurde entlang der Schaftachse ausgehend von der höchst gelegenen Terminalknospe gemessen (Abbildung 2-3:). Dabei dienten die Triebbasisnarben als Messstelle. Waren diese nicht mehr sichtbar, wurde dies vermerkt und der Ansatz des jeweils stärksten Astes eines Quirls als Messpunkt gewählt. Diese Längenzuwächse wurden als Annäherung für die vertikale Ausdehnung der Krone in jährlicher Auflösung verwendet. Entsprechend diesem Verfahren wurde zur Ermittlung der horizontalen Kronenexpansion auch am stärksten Ast von jedem noch sichtbaren Quirl der Triebblängenzuwachs ermittelt. Zur Absicherung der Triebblängenanalyse wurden die Triebblängen an Ästen und Ästchen höherer Ordnung verwendet. Eine Absicherung über die Auszählung von Jahrringen an Kontrollscheiben war wegen der geringen Sichtbarkeit der Jahrringe bei Esche und besonders beim Bergahorn am sägerauhen Schnitt nicht möglich. Mit der Bildung von Quotienten (ih/is-Relation) der Triebblängenzuwächse aus der Schaftachse mit denen der Äste wurde es möglich, das Verhältnis von vertikaler und horizontaler Kronenexpansion zu bestimmen. Auf diese Weise kann ein Maß für die Fähigkeit des Baumes, auf freiwerdenden Kronenraum mit einer horizontalen Expansion der Krone zu reagieren. Insgesamt stehen drei prinzipielle Auswertungsrichtungen zur Verfügung (Abbildung 2-3:). 1a: Analyse der Triebblängenzuwächse entlang der Schaftachse als jährliche Höhenzuwächse – beeinflusst durch Baumalter und Witterungsereignisse. 1b: Analyse der Triebblängenzuwächse der Äste bei einem konstanten Alter des Astes (z.B. 2, 3 oder 4 Jahre) als jährliche Astlängenzuwächse – beeinflusst durch Baumalter und Witterungsereignisse und mit zunehmendem Astalter durch die seitliche Konkurrenz der Nachbarbäume. 2: Analyse der Astlängenzuwächse der Äste bei konstantem Baumalter – beeinflusst durch das Astalter, Witterungsereignisse und die seitliche Konkurrenz der Nachbarbäume. 3: Analyse der Astlängenzuwächse der Äste – beeinflusst durch das Astalter und Witterungsereignisse und mit zunehmendem Astalter durch die seitliche Konkurrenz der Nachbarbäume. In der hier vorgelegten Untersuchung erfolgte die Analyse der Astlängenzuwächse entlang der Auswertungsrichtung 1a, 1b und 3.

²³ Zwei weitere Untersuchungsflächen (ES_15 und ES_16 jeweils mit Unterteilung in Felder) stammen aus Naturverjüngung (bewirtschafteter Mittelwald) und zugleich konnten die bereits gemessenen Bäume nicht gefällt werden: die Eigentümergemeinschaft entschloss sich Anfang 2000 wegen des Sturmereignisses „Lothar“ von einer Nutzung bis auf weiteres abzusehen. Für 26 Eschen stand deshalb kein Baumalter zur Verfügung.

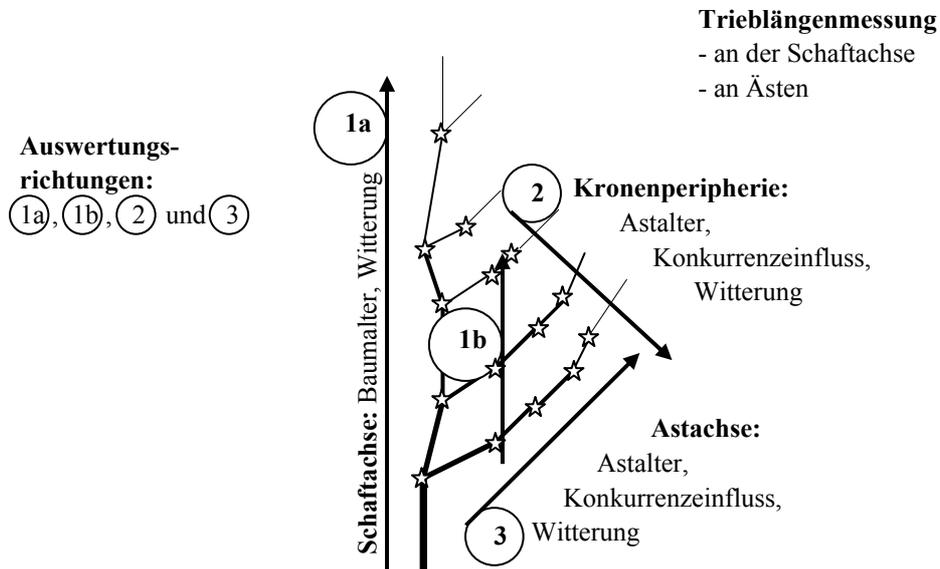


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der Triebblängenmessungen an der Stammachse und den Ästen, sowie möglicher Auswertungsrichtungen.

Der **Ansatzwinkel** des gesamten Astes am Schaft wurde unter Zuhilfenahme eines Geodreiecks gemessen. Als Referenzpunkt am Ast wurde die Astaustrittsstelle aus dem Schaft verwendet. Dieser Punkt wurde bei der Messung mit dem Schaftmittelpunkt über die Basisseite des Geodreiecks verbunden (Astlinie). Die Referenzlinie am Schaft wurde als gedachte Verlängerung des letzten unter dem Astansatz liegenden 30 cm Schaftabschnittes festgelegt (Schaftlinie); dadurch konnte auch bei Zwieselbildungen mit starker seitlicher Entwicklung der Zwieselhälften eine einheitliche Winkelaufnahme gewährleistet werden. Der sich zwischen beiden Linien nach oben öffnende Winkel wurde als Astansatzwinkel in Altgrad gemessen.

2.5.2 Entnahme und Vermessung überwallter Äste

Zur Bestimmung der **Überwallungsdynamik** von abgestorbenen Ästen und der retrospektiven Veränderung des Kronenansatzes wurden an Eschen und Bergahornen, die sich in der Phase der Astreinigung befanden, unterhalb des Kronenansatzes Quirle mit vollständig überwallten Ästen entnommen. Dies wurde soweit durchgeführt, wie am Stamm Quirle erkennbar waren, jedoch nur bis zu einer maximalen Höhe von 15 m. Zur Bestimmung der Überwallungsdynamik von stärkeren abgestorbenen Ästen wurden auch an Bäumen mit großem Brusthöhendurchmesser, an denen einzelne starke Äste abgestorben

und überwallt worden waren, überwallte Äste entnommen. Für jeden überwallten Ast wurden die Ansatzhöhe und die Exposition bestimmt. Als Ansatzhöhe wurde das Zentrum der von außen erkenntlichen Ringnarbe verwendet. Die überwallten Äste wurden im Labor nach der von RAPRAEGER (1939), MAGUIRE & HANN (1987) sowie von FUJIMORI (1993) entwickelten Methode mit einer Bandsäge in Längsrichtung zum Stamm aufgesägt. An den aufgesägten Ästen wurden über die Auszählung der Jahrringe das Entstehungs- und Absterbejahr sowie das Jahr der vollständigen Überwallung bestimmt (Abbildung 2-4).

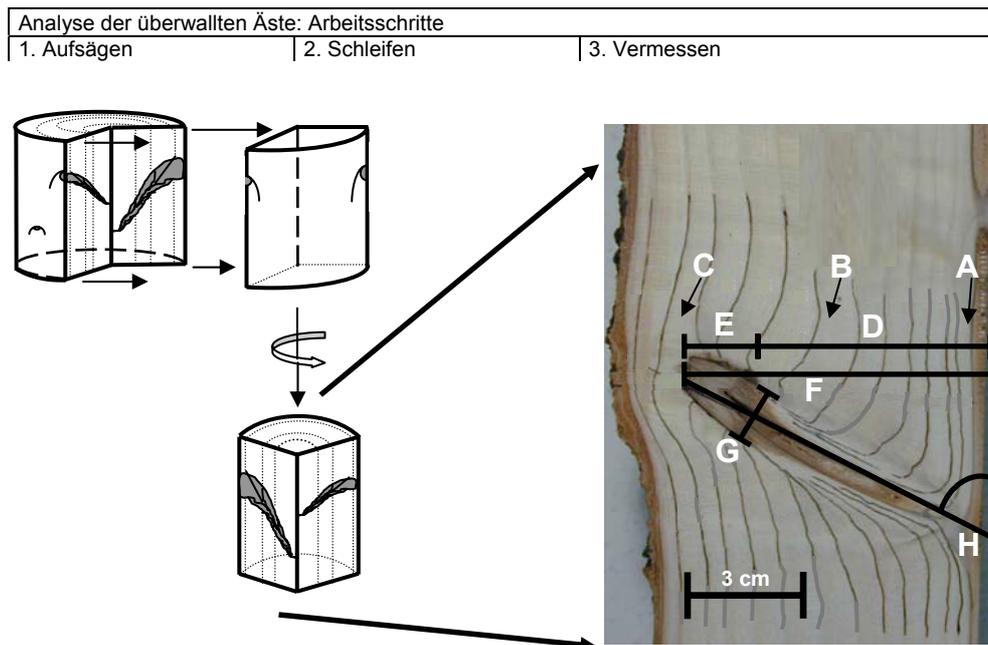


Abbildung 2-4: Präparation und Vermessung der überwallten Äste im Labor, Arbeitsschritte und Messparameter in der Reihenfolge des Messvorgangs; zur besseren Sichtbarkeit wurden die Jahrringgrenzen im Bild farblich hervorgehoben. **A:** Entstehungsjahr des Astes, **B:** Absterbejahr des Astes, **C:** Jahr der vollständigen Überwallung des Astes, **D:** Radius des lebendasthaltigen Teils des Kerns, **E:** Radius des totasthaltigen Teils des Kerns, **F:** Radius des asthaltigen Kerns ($F = D + E$), **G:** Astdurchmesser, **H:** Astansatzwinkel.

Das Entstehungsjahr wurde als das innerste Jahr der oberhalb des Quirls sichtbaren Jahrringe ermittelt (A). Für alle überwallten Äste eines Quirls wurde das gleiche Entstehungsjahr angenommen. Als letztes Jahr des absterbenden Astes wurde das Jahr bestimmt, in dem die Jahrringe des Schaftes noch in das Astholz einmünden (B). Der an dieser Stelle zu beobachtende unregelmäßige Verlauf der Jahrringgrenze des Astes ist ein wichtiges Merkmal zur Bestimmung des Absterbezeitpunktes. Es wurde angenommen, dass zum Ende des Jahres, dessen Jahrring am überwallten Ast als letzter zu sehen ist, der Ast abgestorben ist. Im Gegensatz zu dieser Datierungstechnik an Nadelhölzern (RAPRAEGER 1939, MAGUIRE & HANN 1987, FUJIMORI 1993) konnte weder bei Esche noch bei

Bergahorn eine deutlich ausgeprägte Färbung der äußersten Jahrringe des Astholzes durch die Einlagerung von Inhaltsstoffen als zusätzliches Datierungsmerkmal herangezogen werden. Da im Einmündungsbereich auf der Astoberseite oftmals Rindenstücke verquetscht waren, wurde das Absterbejahr stets auf der Astunterseite bestimmt. Nur in Zweifelsfällen wurde die Astoberseite verwendet. Die Bestimmung des Absterbezeitpunktes erfolgte mit einem Vergrößerungsglas mit 20-facher Vergrößerung. Als Überwallungsjahr wurde das Jahr des vollständigen Verschlusses des abgestorbenen Astes durch Schaftholz verwendet (C).

An den überwallten Ästen wurden weitere Parameter bestimmt. Entlang einer senkrecht zur Stammachse verlaufenden Linie vom Kambium bis zum Mark des Stammes wurden folgende Parameter gemessen: der Radius des lebendasthaltigen Kerns als Distanz zwischen dem Mark im Schaftzentrum und dem Beginn des braun-schwarz verfärbten, abgestorbenen Teil des Astes (D) und der Radius des tothaltigen Kerns als die verbleibende Strecke bis zum Abschluss des überwallten Astes (E). Die Summe von beiden Größen ergibt den gesamten Radius des asthaltigen Kerns (F). Dieser Wert umfasst somit immer nur die einseitige radiale Ausdehnung des asthaltigen Kerns vom Mark bis zur Spitze des überwallten, abgestorbenen Astes. Zusätzlich wurde der Astdurchmesser an der breitesten Stelle des Astes bestimmt (G). Diese Messstelle liegt zumeist kurz vor dem braun-schwarz verfärbten, abgestorbenen Teil des Astes. Wegen der aufwärts gerichteten Krümmung des überwallten Astes hängt die Messung des Ansatzwinkels (H) davon ab, an welcher Stelle die Linie vom Schnittpunkt des Astmarks mit dem Schaftmark über den überwallten Ast geführt wird, aber auch vom Verlauf des Marks im Schaft. Dazu wurde die Streckenhalbierende an der Stelle der Messung des Durchmessers verwendet. Es ergibt sich eine Messgröße, die die Ansatzsituation des Astes noch zu seiner Lebenszeit berücksichtigt. Bei einem Absterben der Terminalknospe des Schaftes verläuft das Schaftmark unmittelbar oder nach einigen Zentimetern oberhalb der Ansatzstelle des Astes seitlich versetzt, da ein Seitenast die Rolle der Terminalknospe übernimmt. Aus diesem Grunde bezieht sich die Messung des Astansatzwinkels auf die gedachte Verlängerung des Schaftmarks unterhalb des Astansatzes und der zuvor beschriebenen Messlinie für die Länge des überwallten Astes.

2.5.3 Vermessung des jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite

Die Vermessung des **jährlichen Radialzuwachses**²⁴ wurde im Labor des Instituts für Waldwachstum durchgeführt. Die Messung der jährlichen Radialzuwächse ohne Rinde erfolgte mit einer am Institut für Waldwachstum entwickelten Bildanalysesoftware. Die Messungen wurden entlang von jeweils 8 rechtwinklich zueinander stehenden Radien pro Stammscheibe²⁵, beginnend in Nordrichtung, durchgeführt. Dieses Verfahren wurde

²⁴ Zur Unterscheidung von „durchschnittlichem Radialzuwachs“ und „jährlichem Radialzuwachs“ vergleiche die Anmerkungen in Kapitel 2.4.2.

²⁵ Die Vermessung von 8 Radien pro Scheibe wurde notwendig zur Berechnung von weiteren Qualitätsmerkmalen des Schaftes wie Schaftform, Exzentrizität und Krümmung in einem weiteren Teil des Projektes (vgl. THIES 2003).

unabhängig von der Entnahmehöhe an allen Stammscheiben durchgeführt. Stammscheiben von Bergahornen, deren Brusthöhendurchmesser größer als 40 cm war und undeutlich ausgeprägte Jahringgrenzen aufwiesen, wurden zur besseren Sichtbarkeit der Jahringgrenzen mit dem Digitalpositiometer nach JOHANN vermessen. Aus den jährlichen Radialzuwachsen der 8 Radien wurde für die vorliegenden Auswertungen jahrweise das quadratische Mittel gebildet. Dadurch erfolgt die beste Annäherung an den jährlichen grundflächenbezogenen Zuwachs des Einzelbaumes (SIOSTRZONEK 1958, WEISE 1987). Alle im Folgenden dargestellten Grafiken stellen deshalb das quadratische Mittel des jährlichen Radialzuwachses dar.

Nach Trocknung, Fixierung auf einer Holzunterlage und Beschleifen der Bohrkerne wurde die **Jahringbreite** mit dem Digitalpositiometer nach JOHANN mit einer Messgenauigkeit von 1/100 Millimeter gemessen. Die weiteren Auswertungen erfolgten an dem arithmetischen Mittel der Jahringbreite aus beiden Bohrkernmessungen. Wurde mit keiner der beiden Bohrungen pro Baum das Mark getroffen, erfolgte die Berechnung der fehlenden Anzahl von Jahren bis zum Mark nach dem von LIU (1986) beschriebenen Verfahren. Gegenüber der von APPLEQUIST (1958) vorgeschlagenen Vorgehensweise konnte hiermit auf einen rechnerischen Ansatz zurückgegriffen werden.

Jährliche Radialzuwächse und Jahringbreiten wurden an mindestens 4 Monate lang luftgetrockneten Holzproben gemessen. Bedingt durch das Schwinden im Zuge der Trocknung ist somit bei beiden Messungen von einer Unterschätzung auszugehen. Untersuchungen an Buche von BÖRNER (1997) zeigten einen Schrumpfungsverlust von durchschnittlich 5 %.

Entsprechend den Klarstellungen von ABETZ (1960) bezüglich der unterschiedlichen Methodik und Begrifflichkeit bei der Vermessung von Stammscheiben und Bohrkernen werden im Folgenden stets jährliche Radialzuwächse und Jahringbreiten entsprechend ihrer Herkunft aus luftgetrockneten Stammscheiben oder Bohrkernen unterschieden.

2.6 HERLEITUNG DES STICHPROBENUMFANGS

Da im Zentrum der Arbeit die Dimensionsentwicklung und Astreinigung als Folge der einzelbaumweisen Konkurrenzsituation und damit auch des Standraums standen, war die Kenntnis der Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Bäumen notwendig. Aus diesem Grund wurden die Einzelbäume in ihrem räumlichen Zusammenhang vermessen. Von der Vermessung von Untersuchungsflächen konstanter Größe wurde abgesehen, da durch die Anwendung des Wuchsreihenprinzips und damit folglich der Integration auch junger Bestände die Anzahl der Bäume pro Untersuchungsfläche sehr stark geschwankt hätte. Zusätzlich ist für feste Aufnahmeflächen insbesondere in homogenen Beständen mit zunehmender Anzahl von Aufnahmebäumen pro Untersuchungsfläche ein abnehmender Nutzen für jeden weiteren vermessenen Baum zu erwarten. Zudem muss berücksichtigt werden, dass bedingt durch kleinräumige Standortsunterschiede, oftmals nur wenige Eschen und Bergahorne in Reinbeständen mit größeren Schaft- und Kronendimensionen zusammenstehen, die auch den Auswahlkriterien entsprechen. Allerdings darf auch der hohe Aufwand für das Auffinden der Untersuchungsobjekte im Gelände nicht vernachlässigt werden (ZÖHRER 1980, HRADETZKY 1983). Da jedoch einer der Schwerpunkte der

Arbeit in der Vermessung von Beständen sehr unterschiedlicher Pflegekonzepte und aus unterschiedlichen Regionen Europas war, wurde eine Entscheidung zu Gunsten von **Untersuchungseinheiten konstanter Baumzahl** getroffen.

Zur Festlegung hinsichtlich der Anzahl von Untersuchungsbäumen je Aufnahme­fläche konnte auf bereits am Institut für Waldwachstum vorhandene Daten zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 3), die ein breites Spektrum an Entwicklungsstadien umfassten. Die Aufnahmen bezogen sich entsprechend den Anforderungen an das Untersuchungsmaterial (vgl. Kapitel 2.2) nur auf die Bäume, die mit ihren Kronen Anschluss an die herrschende Schicht hatten. Nur von diesen wurde ein wesentlicher Einfluss auf das Wachstum der Nachbarbäume erwartet. Damit sollte zugleich auch die Variation der wichtigsten Zielparameter entsprechend dem Ziel der Arbeit, nur die Wachstumsgesetzmäßigkeiten der für Wertholzproduktion geeigneten Bäume zu untersuchen, verringert werden. Da der Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung in der Dynamik der Astreinigung und des Dickenwachstum lag und auch Vergleiche zwischen Beständen unterschiedlicher Behandlung stattfinden sollten, war die Variation von Kronenbreite, Brusthöhendurchmesser, Höhe und Kronenansatz von besonderem Interesse. Ausgehend von der Variation dieser Zielgrößen auf jeweils Eschen- und Bergahornuntersuchungsflächen wurde der notwendige Stichprobenumfang berechnet. Grundgesamtheit im statistischen Sinne waren innerhalb dieser Arbeit alle mindestens mitherrschenden Eschen und Bergahorne unterschiedlicher Wachstums- und Dimensionsgrößen sowie Behandlungen²⁶ auf jeweils geeigneten Standorten. Die in Laufe der Untersuchung gewonnenen Daten stellen eine Stichprobe aus dieser Grundgesamtheit dar. Bei einer Genauigkeit (E) von 0,10 und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ bei beidseitiger Fragestellung wurde Gleichung 7 zur **iterativen Berechnung des Stichprobenumfangs angewendet** (BORTZ 1999).

Gleichung (7)

$$n = \frac{t^2 \cdot CV^2}{A^2}$$

n = iterativ zu berechnender Stichprobenumfang
t = t-Wert für $\alpha = 0,05$, zweiseitig, FG = n - 1
CV = Variationskoeffizient
A = geforderte Genauigkeit des Mittelwertes
dabei gilt:

$$A = t \cdot s_x = t \cdot \frac{s^2}{\sqrt{n}}$$

s_x = Standardfehler
 s^2 = Varianz der Zielgröße

Aus Tabelle 2-4: ist die Variation des benötigten Stichprobenumfangs für die zentralen Modellparameter ersichtlich. Für die je drei Eschen- und Bergahornbestände kann das gesetzte Niveau an Genauigkeit und Sicherheit mit 25 Bäumen pro Untersuchungseinheit in

²⁶ Behandlung im Sinne dieser Untersuchung ist ein forstlicher steuernder Eingriff in die Wachstumsentwicklung eines Bestandes oder Einzelbaumes, oder - bei Abwesenheit menschlicher, zielgerichtete Eingriffe - das durch andere Umweltfaktoren beeinflusste Wachstumsverhalten von Beständen oder Einzelbäumen

fast allen Fällen erreicht werden. Die Unterschiede weisen jedoch auf ein bestandes-individuelles Ausmaß an Streuung zwischen den Untersuchungsflächen hin. Lediglich in einem Bestand wäre ein größerer Stichprobenumfang nötig.

Tabelle 2-4: Stichprobenumfänge für die wichtigsten Modellparameter aus Voruntersuchungen des Instituts für Waldwachstum (jeweils drei Untersuchungsflächen – s. Anhang 1). Sicherheit: $\alpha = 0,05$; Genauigkeit: $E = 0,10$.

Modellparameter	Untersuchungsfläche					
	Esche			Bergahorn		
	5081	59381	59821	OFF	MUELL	SAECKM
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe:	8	14	11	16	15	9
Kronenbreite:	13	23	70	17	14	20
Höhe des Kronenansatzes:	19	15	61	25	20	12

Kann auf Grund fehlender Informationen zur Straffheit der gesuchten Zusammenhänge kein Stichprobenumfang berechnet werden, kann eine **explorative Datenanalysestrategie** zum Einsatz kommen. Nach COHEN & COHEN (1983) kann in diesem Fall der erforderliche Stichprobenumfang näherungsweise mit einer Faustformel geschätzt werden. Die benötigte Anzahl von Beobachtungen soll dabei mindestens die angenommene Anzahl der unabhängigen Variablen multipliziert mit 40 betragen. Diese Vorgehensweise fand bei allen weiteren – nicht in Tabelle 2-5: aufgeführten - Zusammenhängen Anwendung und wurde als Minimum betrachtet. Liegen nicht genügend Beobachtungen für eine explorative Datenanalyse vor, handelt es sich **um eine orientierende Untersuchung auf zunächst qualitativer Basis**²⁷.

Zusätzlich zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs anhand statistischer Kenngrößen wurden auch Überlegungen zum **Zeitbedarf** angestellt. Die Aufnahme von 25 Bäumen pro Untersuchungsfläche benötigte einen Tag an Außenarbeiten. Diese Zeitvorgabe konnte auch bei großen Bäumen mit längeren Laufzeiten sowie bei kurzen Tageslängen in der winterlichen Messperiode eingehalten werden.

Unterstellt man bestandes- und behandlungsspezifische oder auch lagetypische (in einzelnen Ländern) Unterschiede in den Wachstumsgesetzmäßigkeiten, sind Ergebnisse aus wenigen temporären Untersuchungsflächen mit einer jeweils hohen Anzahl von Bäumen weniger aussagekräftig hinsichtlich der Populationskenngröße (z.B. Wachstumsgesetzmäßigkeiten) als viele Untersuchungsflächen mit wenigen Einzelbäumen.

Unter Abwägung der Ergebnisse zu den Stichprobenumfängen von zu messenden Baumparametern und des Zeitbedarfs der Messungen wurde **die Größe der Untersuchungsflächen auf 25 Bäume festgelegt**.

²⁷ Dies gilt insbesondere für den Fall der Überwallung nach Ästung. Da diese Pflegemaßnahme an Esche und Bergahorn nur sehr wenig verbreitet ist, und zusätzlich eine kostspielige und auf Wertholzproduktion abzielende Maßnahme darstellt, war absehbar, dass die Anzahl der Messungen nicht ausreichend sein würde.

Da mit den vorliegenden Untersuchungen nicht nur Modellparameter zwischen verschiedenen Untersuchungsflächen verglichen, sondern auch statistische Beziehungen zwischen den Modellparametern analysiert werden sollten, wurde **der Stichprobenumfang berechnet, mit dem eine bestimmte Beziehung bei einer gewünschten Genauigkeit und Sicherheit geschätzt werden kann**. Dies diente als Minimalgrundlage für die Gesamtzahl der zu messenden Bäume je Baumart. Zur Anwendung eines entsprechenden statistischen Verfahrens werden zusätzlich das Bestimmtheitsmaß, die Irrtumswahrscheinlichkeiten α und β (Fehler 1. und 2. Ordnung) sowie die Anzahl der unabhängigen Variablen im angestrebten Modell und daraus abgeleitet die Effektstärke als Maß für die in der Population vermuteten Zusammenhänge benötigt²⁸ (COHEN 1988). Dabei muss der Zuwachs an aufgeklärter Varianz bzw. partieller Korrelation durch die in der schrittweisen Regression zuletzt in das Modell aufgenommene Variable berücksichtigt werden. Ohne weitere Iterationsschritte kann dann mit Gleichung 8 der Stichprobenumfang berechnet werden.

Gleichung (8)
$$n = k_a + k_b + 1 + \frac{\lambda}{f^2}$$

n = zu berechnender Stichprobenumfang
 k_a = Anzahl der unabhängigen Variablen ohne die
 zuletzt aufgenommene Variable
 k_b = Anzahl der zuletzt aufgenommenen Variablen (1)
 λ = Maß für die Effektstärke für
 k_b , α (0,05), $1 - \beta$ (0,90)
 f^2 = Effektstärke, wobei gilt: $f^2 = \frac{(r_{ab}^2 - r_a^2)}{(1 - r_{ab}^2)}$
 r_a^2 = Bestimmtheitsmaß im Modell ohne die zuletzt
 aufgenommene Variable
 r_{ab}^2 = Bestimmtheitsmaß im Gesamtmodell

Hinweise auf die Straffheit der jeweiligen Wachstumsgesetzmäßigkeit ergaben sich aus Voruntersuchungen von am Institut für Waldwachstum vorhandenen Daten (vgl. Kapitel 3) und aus wachstumskundlichen Untersuchungen vergleichbarer Art (NUTTO 1999). Dabei wurde das der Effektstärke zugrunde liegende Bestimmtheitsmaß aus Sicherheitsüberlegungen heraus tendenziell etwas tiefer angesetzt. Aus Tabelle 2-5: ist die Variation des benötigten Stichprobenumfangs für zentrale Wachstumsgesetzmäßigkeiten ersichtlich. Deutlich wird die Schwankung der Stichprobenumfänge in Abhängigkeit vom Bestimmtheitsmaß. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der geforderte Stichprobenumfang die gesamte Spannweite der unabhängigen Variablen abdecken muss. Datengewinnung in einem einzigen Bestand kann damit nicht ausreichend sein.

²⁸ Das mathematische Verfahren zur Bestimmung der Stichprobengröße wurde erstmals 1987 unter dem Namen „Poweranalyse“ von Cohen entwickelt, da für die Berechnung des Stichprobenumfangs eine Festlegung hinsichtlich des Fehlers 2. Ordnung (β) erfolgen muss. Siehe dazu auch die Darstellungen in deutscher Sprache von BORTZ (1999) sowie die Überlegungen zur Umsetzung im forstwissenschaftlichen Bereich von KÖHL (1991).

Anhand der Ergebnisse zum benötigten gesamten Stichprobenumfang wurde **die Größe der Stichprobe je Baumart auf 450 Bäume festgelegt**. Dies stellt eine Mindestgröße dar, die zum Erreichen weiterer Ziele dieser Arbeit (z.B. europäischer Aspekt) überschritten werden kann. Auch für den Fall, dass die Baumart als weitere Variable in eines der Modelle aufgenommen werden soll, erhöht sich nach Gleichung 8 (k_a steigt um 1 bei unverändertem α , β sowie $r_a^2 - r_{ab}^2 = 0,01$) kann dieser Stichprobenumfang als ausreichend angesehen werden.

Tabelle 2-5: Stichprobenumfänge (n) für die wichtigsten Wachstumsgesetzmäßigkeiten.

	Fehler 1.Ordnung, Teststärke: $\alpha, (1-\beta)$	Bestimmtheitsmaß, Effektstärke, λ – Wert: $r_{ab}^2, r_a^2, f^2, \lambda$	Esche/ Bergahorn Stichprobenumfang: n
$b_{Kr} =$ $f(d_{1,3}, a_B)$	5 %; 90 %	0,80; 0,79; 10,5; 12,7	213
$h_{Kr} =$ $f(h_B, d_{1,3}, a_B)$	5 %; 90 %	0,70; 0,69; 10,5; 14,2	319
$lastfrei =$ $f(h_B, d_{1,3}, a_B)$	5 %; 90 %	0,60; 0,59; 10,5; 14,2	424

Aufgrund der festgelegten Auswahlkriterien erfolgte die Auswahl der Untersuchungsflächen im Bestand nicht vollkommen zufällig. Damit ist die allgemeine Forderung nach **zufälliger Auswahl** der Stichprobenelemente nicht zur Gänze erfüllt. Allerdings kann bei ausgedehnten Beständen davon ausgegangen werden, dass die Anzahl möglicher Lagen von Untersuchungsflächen sehr groß ist. Dennoch muss aus diesem Grund bei der Interpretation der Analyseergebnisse berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse zufallsbedingte Variationen des Ausgangsbestandes nicht in vollem Ausmaße widerspiegeln.

2.7 DATENAUSWERTUNG

2.7.1 Fehlerquellen und Plausibilitätsprüfungen

Die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten umfassen Dimensions- und Wachstumsgrößen von Bäumen sowie deren Lagekoordinaten. Prinzipiell können für diese Daten mit Mess-, Tipp- und Auswertungsfehlern drei **Fehlerquellen** unterschieden werden. Da die Messungen auf der Aufnahmefläche und im Labor in unterschiedlichem Maße anfällig hinsichtlich Fehlmessungen sind, wurde die Intensität der Überprüfung der Messwerte an der Anzahl der möglichen Fehlerquellen ausgerichtet. Schwerpunkt der Überprüfungen waren dabei während der Außenaufnahmen die Baumhöhenmessungen, das Erkennen des untersten grünen Primärastes und Totastes sowie die Vermessung der jährlichen Trieb-längen und im Labor die Vermessung der Bohrkerne sowie die Vermessung der überwallten Äste.

Zur Reduktion von Fehlmessungen bei der Aufnahme der **Baumhöhe** wurden wiederholt Kontrollmessungen durchgeführt. Eine Überschätzung der Baumhöhen durch schlechte Einsehbarkeit der Kronenspitzen sollte dadurch vermieden werden (vgl. KRAMER & AKCA 1995). Um die **Kronenansatzhöhe** und die **Ansatzhöhe des ersten toten Primärastes** richtig ansprechen zu können, war es hilfreich, deren Lage nicht nur von der Messperson, sondern auch von der Begleitperson überprüfen zu lassen, die für das Notieren der Messwerte zuständig war. Da durch das zweiteilige Höhenmessgerät (FORESTOR VERTEX) der Transponder durch die Begleitperson direkt am Baum befestigt werden musste, stand dort nach der Betrachtung des Schaftes durch den Messenden auch immer eine weitere Kontrollmöglichkeit zur Verfügung. Insbesondere in Mischbeständen erwies sich diese Vorgehensweise als sinnvoll. Zusätzlich musste wegen der Durchführung der Messungen im unbelaubten Zustand die Unterscheidung von lebenden und toten Ästen im Winterzustand sehr sorgfältig erfolgen. Die Datierungsgenauigkeit der **Triebblängenmessung** wurde durch die grafische Darstellung zusammen mit dem Radialzuwachs der Stammscheibe aus Brusthöhe überprüft, die nach der Vermessung im Labor zur Verfügung standen. Bei Abweichungen in Einzeljahren wurden die Verschiebungen in den vorhergegangenen Jahren untersucht. Für den Fall einer Fehldatierung der Triebblängenmessung vor Ort wurde der Teil der Zuwachssequenz vor der Fehldatierung nicht weiter in Auswertungen einbezogen.

Die Vermessung der **Bohrkerne** bereitete hauptsächlich bei Bergahorn mit oft nur sehr schwer erkennbaren Jahrringgrenzen einen erhöhten Arbeitsaufwand. Da bei den Bohrkernen im Gegensatz zur Vermessung der Stammscheiben nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Schaftquerschnitt zur Verfügung stand, konnte es zu Fehlsetzungen oder Auslassungen von Jahrringen kommen. Aus diesem Grunde erfolgte vor der eigentlichen Vermessung der Bohrkerne eine vorsichtige Markierung der Jahrringgrenzen mit Bleistift unter einer Handlupe mit 20-facher Vergrößerung. Das Vorhandensein von zwei Bohrkernen erwies sich in diesem Zusammenhang für den direkten Vergleich des Jahrringverlaufs als sehr vorteilhaft.

Mit der Übertragung der Daten aus den Aufnahmeformularen in Datenbanken konnte es zu Tippfehlern kommen. Nachfolgende Berechnungen konnten dadurch grob verfälscht werden. Vor der eingehenden Auswertung wurden deshalb alle Messgrößen in **grafisch als Scatterplots untersuchungsflächen- oder baumweise dargestellt**. Zusätzlich erfolgte eine gesamthafte grafische Darstellung der Einzelwerte sowie der Residuen für alle berechneten Modelle. Diese Vorgehensweise musste ohnehin im Rahmen der regressionsanalytischen Auswertungen erfolgen. Die Darstellung der Lage der Einzelbäume im Baumverteilungsplan und der Kronenkarte konnte ebenfalls Fehlmessungen und nachfolgend fehlerhafte Auswertungen erkennen lassen.

Alle im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Messungen wurden in einer einheitlichen Datenbank (MS ACCESS) gespeichert. Durch die Formulierung von **Integritätsregeln**, inklusive der referenziellen Integritäten konnte eine eindeutige Zuordnung der jeweiligen Aufnahmeeinheiten zu den ihnen übergeordneten Hierarchien gewährleistet werden.

Wurden mit den beschriebenen grafischen Überprüfungsmethoden außergewöhnliche Messwerte entdeckt, erfolgte zunächst die Kontrolle des Eintrags in den Aufnahmeformularen. War auf diese Weise kein Tippfehler nachzuweisen, erfolgte ein Vergleich des

Messwertes mit den Werten benachbarter Bäume der Untersuchungsfläche. Eine **statistische Überprüfung** von Ausreißern wurde zudem mit Hilfe des Programmpaketes SAS® (Version 6.12) durchgeführt. Über eine entsprechende Routine wurden die Werte ausgegeben, die für die jeweiligen Zusammenhänge (z.B. Kronenbreite-Brusthöhen-durchmesser) außerhalb des Vorhersagesintervalls lagen ($\alpha = 0,05$).

Wenn nach diesen Prüfschritten eine eindeutige Fehlmessung oder ein Übertragungsfehler vorlag, wurde der Messwert aus den weiteren Auswertungen ausgeschlossen.

2.7.2 Durchführung der Regressionsanalysen und statistischer Tests

Zentraler Teil der statistischen Analysemethoden sind Regressionsanalysen und statistische Tests. Für die vorliegende Untersuchung wurden überwiegend lineare, einfache oder multiple Regressionsmodelle verwendet. Im Falle des Höhenwachstumsmodells war dies eine nicht-lineare Regression. Von der regressionsanalytischen Darstellung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Dimensions- und Zuwachsgrößen kann jedoch keinesfalls auf die Kausalität der jeweiligen Zusammenhänge, sondern lediglich auf **statistische Beziehungen** geschlossen werden. Dies muss jeweils bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die statistische Auswertung wie auch die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit der **Statistiksoftware SAS®** (Version 6.12). Als gewähltes Signifikanzniveau des Fehlers erster Ordnung wurde für alle Fragestellungen, soweit nicht explizit anderes erwähnt wird, eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ verwendet. Die grafische Darstellung der Ergebnisse wurde ebenfalls mit den Grafikmodulen von SAS® (Version 6.12) durchgeführt. Dabei wurde auf eine möglichst kondensierte, jedoch auch überschauliche und einfache Form der Darstellung geachtet (vgl. TUFTE 2001).

Als Entscheidungshilfe zur **Wahl des passenden Modells** wurden zunächst die Modellvoraussetzungen überprüft. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit des statistischen Modells, aber auch um die Praktikabilität im Hinblick auf die Anwendung in der Forstpraxis zu sichern, wurde versucht, durch eine sparsame Auswahl der Modellparameter unter Berücksichtigung der zuvor genannten Ziele die angestrebten Modellformulierungen einfach und verständlich zu halten. Zusätzlich durfte die Modellformulierung physiologischen Gesetzmäßigkeiten nicht widersprechen.

Ziel linearer, einfacher und multipler Regressionen ist es, Zusammenhänge zwischen mindestens zwei Variablen nachzuweisen und eine Entscheidung treffen zu können, ob der gefundene Zusammenhang auf Zufälligkeiten in der Stichprobe oder auf tatsächliche Zusammenhänge in der Grundgesamtheit zurückzuführen ist. Der Fehler, diesbezüglich eine falsche Entscheidung zu treffen, kann als Wahrscheinlichkeitsaussage dargestellt werden (HARTUNG et al. 1998). Die Wahl der Variablen in einem multiplen Regressionsmodell wurde in der vorliegenden Untersuchung nach der **schrittweisen Auswahl** vorgenommen. Dabei wird zunächst die am stärksten erklärende Variable in das Modell aufgenommen. Aus den Residuen wird die nächste am stärksten mit der zu erklärenden Variablen korrelierende Variable bestimmt. Aus den Residuen der multiplen Regression kann danach die nächste noch verbleibende Variable bestimmt werden (DRAPER & SMITH

1998). Diese Vorgehensweise kann abgeschlossen werden, wenn die Integration einer weiteren Variablen keine oder nur eine unwesentlich verringerte quadratische Abweichung der Residuen von der Modellprognose bringt. Die Signifikanz des Beitrags einer unabhängigen Variablen zum linearen Regressionsmodell wurde anhand eines partiellen F-Tests überprüft. Die Schätzer der Regressionskoeffizienten wurden mit einem T-Test, das Gesamtmodell wurde mit einem F-Test auf Signifikanz überprüft. Anschließend erfolgte die Berechnung der partiellen Bestimmtheitsmaße, des gesamten justierten und unjustierten Bestimmtheitsmaßes. Variablen, deren partielles Bestimmtheitsmaß unter 0,01 lag, wurden nicht in das Modell aufgenommen.

Zur Durchführung linearer Regressionen sind zahlreiche **Voraussetzungen** zu beachten. Zur Erfüllung der Linearität müssen die Koeffizienten der Regressionsgleichung mit + oder - Vorzeichen verbunden sein. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, kann eine Linearisierung mit Hilfe einer log-Transformation oder auch einer Neudefinition einzelner Variablen vorgenommen werden (FREUND & LITTELL 1991). Die **Normalverteilung der Residuen** wurde grafisch über die Betrachtung der Häufigkeitsverteilung beurteilt (cdfplot in SAS/ STAT 6.12). Zur Überprüfung der Unabhängigkeit der Residuen wurde die **Autokorrelation der Residuen** des Kronenansatzmodells, des Modells zur astfreien Schaftlänge und des Kronenbreitenmodells mit dem Durbin-Watson-Test überprüft. Liegt diese Teststatistik DW nahe bei 2, kann von einem annehmbaren Ausmaß an Autokorrelation ausgegangen werden. Werte nahe bei 0 beziehungsweise bei 4 weisen auf starke positive beziehungsweise auf negative Autokorrelation der Residuen hin (DRAPER & SMITH 1998) und können als Hinweis auf weitere, im Modell fehlende Einflussgrößen gewertet werden. Die Überprüfung erfolgte anhand entsprechender Tabellenwerke. Für die Zulässigkeit der linearen Regression muss die **Varianzgleichheit** der Residuen über den unabhängigen Variablen gegeben sein. Die Homoskedastizität wurde grafisch durch den Plot der Residuen über den unabhängigen Variablen überprüft. Im Falle der Nichterfüllung dieser Voraussetzung kann eine log-Transformation durchgeführt werden. Eine Nivellierung des Streuungsbandes bei großen Werten der unabhängigen Variablen kann damit erreicht werden. Die unterschätzende Tendenz log-transformierter Regressionen muss jedoch berücksichtigt werden (HARTUNG et al. 1998). Zur vollständigen Linearisierung von Zusammenhängen kann auch eine beidseitige Logarithmierung und damit auch der erklärten Variablen angewandt werden. Die gegenseitige Unabhängigkeit der erklärenden Variablen (auch als **Multi-/ Kollinearität** bezeichnet) bedarf einer besonderen Überprüfung bei der Durchführung multipler linearer Regressionen. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, kann es zu Vortäuschung sehr hoher Bestimmtheitsmaße sowie zum Wechsel der Vorzeichen der Regressionskoeffizienten bei geringen Änderungen des Datenmaterials kommen (BELSLEY 1991). Die Multikollinearität wurde über den Variance Inflation Factor (VIF) überprüft, dessen Berechnung durch SAS vorgenommen werden kann. Als Grenzwert wurde dabei ein Wert von 5,0 verwendet (HASENAUER 1997). Traten höhere Werte auf, wurde das gewählte Modell verworfen. Zusätzlich wurden die multiplen Regressionsmodelle mehrmals mit unterschiedlichen Datensätzen, entsprechend dem

Eingang der Messungen²⁹, berechnet und auf die Stabilität ihrer Koeffizientenvorzeichen überprüft.

In der vorliegenden Arbeit soll auch geprüft werden, ob Unterschiede in den Wachstumsgesetzmäßigkeiten zwischen Esche und Bergahorn auf Zufälligkeiten im Stichprobenmaterial oder auf tatsächlich unterschiedliches, baumartspezifisches Wachstum zurückzuführen ist. Da mit der Baumart nicht mehr nur intervall- sondern auch eine nominalskalierte Variable hinsichtlich ihres Einflusses auf die gesuchten Wachstumsgesetzmäßigkeiten überprüft werden soll, reichen einfache regressionsanalytische Verfahren nicht mehr aus. Zur Integration verschiedener Skalenniveaus wurden Stellvertretervariablen verwendet (BORTZ 1999). Dazu wurde die Baumart als einfache Dummyvariable codiert (Esche = 1, Bergahorn = 0). Entsprechende Codierungen erfolgten ebenfalls für die Zuordnung der Untersuchungsflächen zu Mischbeständen (Reinbestand = 1, Mischbestand = 0), Begründungsart (Naturverjüngung = 1, unbekannt = 0, Pflanzung = -1) und Betriebsart (Hochwald = 0, Solitär = 1). Dabei können zur Klärung der Unterschiedlichkeit von Wachstumsgesetzmäßigkeiten für Esche (1) und Bergahorn (0) die Schätzer der Modellkoeffizienten auf Signifikanz geprüft werden. Dabei wurde jeweils getestet, ob der für die Baumart Esche in der multiplen Regression gefundene Schätzer des Achsenabschnittes oder der Steigungskoeffizienten signifikant von denen für Bergahorn abweicht. Ebenso sind **Interaktionen** zwischen den unabhängigen Variablen und der Baumart auf Signifikanz überprüfbar.

Da bei **nicht-linearen Regressionen** (z.B. Höhenwachstumsmodell) im Gegensatz zur linearen Regression die Schätzer der Koeffizienten nicht analytisch bestimmt werden können, muss ein numerisches (iteratives) Verfahren eingesetzt werden. Die Startwerte wurden mehrfach mit unterschiedlichen Werten gesetzt, um zu vermeiden, dass dieses Verfahren im Bereich lokaler Minima konvergiert, die nicht das absolute Quadratsummenminimum der Abweichungen repräsentieren (FREUND & LITTELL 1991). Ein nicht-linearer Ansatz kam lediglich bei der Modellierung des Höhenwachstums zum Einsatz. Hierbei wurde die SAS-Prozedur NLIN verwendet.

Für **Mittelwertvergleiche** zwischen Stichproben aus zwei voneinander unabhängigen Kollektiven wurde der T-Test verwendet. Im Falle von nicht normalverteilten Stichprobenwerten ($\alpha = 0,20$) wurde auf den Wilcoxon-Rangsummentest (in SAS rechnerisch identisch mit dem MWU-Test) beziehungsweise auf den Kruskal-Wallis-Test für den Vergleich mehrerer Stichproben als verteilungsfreie Verfahren zurückgegriffen. Da mit den verteilungsfreien Verfahren nur Verteilungsunterschiede ermittelt werden können, wurde zusätzlich mittels einer einfachen linearen Regression der Trend auf Signifikanz untersucht.

Bei der Formulierung der **Nullhypothese** wurde stets angenommen, dass kein Zusammenhang zwischen den Variablen, beziehungsweise kein Unterschied zwischen Mittelwerten oder Grundgesamtheiten besteht.

²⁹ Durch die Neumessungen in heterogener Reihenfolge (bzgl. z.B. Kronenbreite, Höhe) ist auf diese Weise ein guter Hinweis auf die Vorzeichenstabilität zu erhalten. Auf bootstrap - Methoden wurde deshalb verzichtet.

3 MATERIAL

3.1 KENNDATEN DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN

3.1.1 Geografische Lage

Die Untersuchungsflächen stammen **aus insgesamt 13 Ländern Europas**. In Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Kroatien, Luxemburg, den Niederlanden, Österreich, Polen, Slowenien, Tschechien und Ungarn wurden insgesamt 322 Untersuchungsflächen³⁰ ausgewählt. Sowohl die Messungen zur Esche wie auch zum Bergahorn erstrecken sich über einen geografischen Bereich (Abbildung 3-1:) mit einer Ost-West-Ausdehnung von 1500 km und einem Nord-Süd-Transsekt von 1300 km Länge (Tabelle 3-1:). Die geografische Lage der Untersuchungsflächen ist für jede Einzelfläche aus Anhang I zu entnehmen. Die Bestände, in denen die Messungen erfolgten, befanden sich im Eigentum von öffentlichen Einrichtungen (z.B. Forschungseinrichtungen), des jeweiligen Staates (z.B. staatseigene militärische Liegenschaften) sowie von Groß- beziehungsweise Kleinprivatwaldbesitzern.

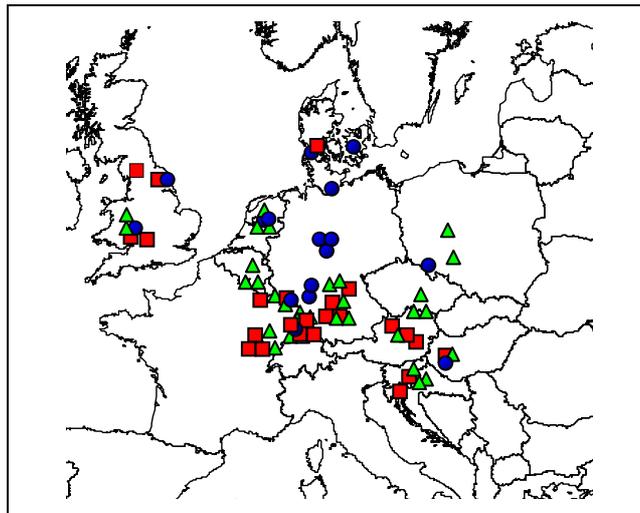


Abbildung 3-1: Lage der Untersuchungsflächen in Europa. **Signaturen:** **Dreieck:** Eschenreinbestand, **Quadrat:** Bergahornreinbestand, **Kreis:** Eschen-Bergahorn-Laubbaum-Mischbestand; drei nahe beieinanderliegende, sich überlappende Symbole der gleichen Signatur kennzeichnen eine Häufung von mindestens drei Untersuchungsflächen.

³⁰ Da auch Einzelbäume (z. B. Solitäre, Einzelbäume aus Mittelwäldern) in die Messungen miteinbezogen wurden, musste für diese Bäume jeweils eine eigene Untersuchungsfläche angelegt werden. Damit erhöhte sich die Anzahl der Untersuchungsflächen beträchtlich.

Tabelle 3-1: Spreitung von geografische Länge und Breite der Untersuchungsflächen.

	Esche		Bergahorn	
Geografische Länge	- 2° 57' 7,4" 18° 02' 35,6"	ö. L. bis w. L.	- 2° 52' 26,8" 17° 40' 25,3"	ö. L. bis w. L.
Geografische Breite	45° 54' 8,6" 55° 31' 45,8"	n. B. bis n. B.	45° 30' ³¹ 55° 31' 45,8"	n. B. bis n. B.

3.1.2 Standortkundliche Gliederung

Die Standorte, auf denen die Untersuchungsflächen angelegt wurden, spiegeln die speziellen Standortsanprüche von Esche und Bergahorn wider. Die **Bodenart** variiert von tonigem Sand über Lehm bis zu lehmigem Ton (Esche) beziehungsweise von Sand über Geschiebelehm bis zu tonigem Lehm (Bergahorn). Die **Nährstoffversorgung** wurde auf allen Flächen als gut bis sehr gut beurteilt. Mit mäßig trockenen bis nassen (Esche) beziehungsweise mäßig trockenen bis frischen (Bergahorn) Standorten wurde ein weites Spektrum an **Wasserhaushaltsstufen** abgedeckt. Die **Bodentypen** umfassten entwickelte Böden der Aueserie sowie Gleye, Rendzinen, Parabraunerden und Braunerden; letztere stellten den häufigsten Bodentyp dar (Tabelle 3-2:).

Tabelle 3-2: Übersicht über die Spreitung der Standortbedingungen auf den Untersuchungsflächen.

	Esche	Bergahorn
Bodenart	Toniger Sand bis lehmiger Ton	Sand über Geschiebelehm bis toniger Lehm
Bodentyp	Böden der Aueserie, Gleye, Rendzinen, Parabraunerden und Braunerden	
Wasserhaushalt	Mäßig trocken bis nass	Mäßig trocken bis frisch
Nährstoffversorgung	Gut bis sehr gut nährstoffversorgt	
Langjähriges Jahresmittel der Niederschlagssumme	530 – 1200 mm / m ²	530 – 1800 mm / m ²
Langjähriges Jahresmittel der Lufttemperatur	6,4 – 10°C	5 – 10 °C
Höhenlage	- 5 bis 977 m ü. NN	- 4 bis 1002 m ü. NN
Hangneigung (Altgrad)	0 – 35°	0 – 53°
Höhenstufe	planar bis montan	
Kontinentalität	atlantisch bis kontinental	
Relief	Ebene, Talauen, Hangstandorte bis Plateaulagen, Kuppen	

Die langjährigen Jahresmittel der **Niederschläge** und **Lufttemperatur** sowie die Spreitungen von Höhenlage, Hangneigung, Höhenstufe, Relief und Kontinentalität bewegen sich in einem weiten Rahmen von Standorten. Für jede einzelne Untersuchungsfläche können weitere Standortinformationen aus Anhang I entnommen werden.

³¹ Da auf der südlichsten Untersuchungsfläche mit dem GPS-Gerät kein Empfang möglich war, wurde dieser Wert aus der Karte entnommen. Aus diesem Grunde beschränkt sich die Angabe auf Grad und Minuten.

3.2 KENNDATEN DER AUFNAHMEBÄUME

3.2.1 Gesamtübersicht der Dimensions- und Wachstumsparameter

Die Messungen an Esche und Bergahorn decken mit Baumhöhen, Kronen- und Schaftdimensionen, Alter sowie dem Radialzuwachs eine Bandbreite an Dimensions- und Zuwachsparametern ab. Auch Extreme wurden in die Aufnahmen einbezogen. Es standen als Bäume aus Beständen insgesamt 1501 Eschen und 1021 Bergahorne zur Verfügung. Zusätzlich wurden weitere 42 Eschen- und 32 Bergahornsolitäre vermessen. Die Spreitung verschiedener Dimensions- und Zuwachsgrößen wird in Tabelle 3-3: dargestellt.

Tabelle 3-3: Spannweiten ausgewählter Dimensions- und Zuwachsgrößen der gemessenen Eschen und Bergahorne, Bestandesbäume und Solitäre.

Dimensions- und Zuwachsgrößen	Esche			Bergahorn		
	Bestandesbäume					
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. - Max.	arith. Mittel
Baumhöhe: [m]	1501	7,4 – 45,8	23,13	1021	4,6 – 37,8	21,20
Kronenansatzhöhe: [m]		0,5 – 28,4	10,96		0,2 – 19,4	9,33
Astfreie Schaftlänge: [m]		0,5 – 28,4	9,99		0,2 – 18,7	8,63
Kronenschirmfläche: [m ²]		0,2 - 288,9	28,96		0,4 – 176,0	25,46
Kronenbreite: [m]		0,4 – 19,2	5,31		0,7 – 15,0	5,09
Durchmesser in 1,3m Schafthöhe[cm]		3,5 – 96,5	28,21		3,4 – 88,8	28,15
Durchschnittl. Radialzuwachs: [mm]		0,8 – 6,5	3,01		1,1 – 8,5	2,87
Baumalter: [J]		11 - 205	50,5		10 - 179	53,6
	Solitäre					
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. - Max.	arith. Mittel
Baumhöhe: [m]	42	3,4 – 30,4	13,49	30	2,3 – 23,0	11,71
Kronenansatzhöhe: [m]		0,4 – 4,9	2,06		0,2 – 3,1	1,51
Astfreie Schaftlänge: [m]		1,0 – 2,0	1,38		0,2 – 3,1	1,52
Kronenschirmfläche: [m ²]		0,6 – 352,5	94,51		0,2 – 400,3	86,08
Kronenbreite: [m]		0,9 – 21,2	9,83		0,5 – 22,6	9,3
Durchmesser in 1,3m Schafthöhe[cm]		3,6 – 102,5	40,90		2,0 – 132,0	43,4
Durchschnittl. Radialzuwachs: [mm]		1,5 – 8,3	4,67		1,8 – 6,5	3,62
Baumalter: [J]		7 - 169	49,3		5 - 162	58,1

Auch Bäume größerer Dimension konnten in die Aufnahmen integriert werden: insgesamt standen von den Bestandesbäumen 174 Eschen und 123 Bergahorne mit Brusthöhendurchmessern von mindestens 50,0 cm zur Verfügung. Bäume mit sehr hohen durchschnittlichen Radialzuwachsen und zugleich großen Brusthöhendurchmessern waren

weniger zahlreich vorhanden. Dennoch finden sich auch hier 30 Eschen und 10 Bergahorne mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von mindestens 4,5 mm und zugleich einem Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe von mindestens 50 cm. Insgesamt standen 133 Eschen und 64 Bergahorne mit Kronenbreiten $\geq 10,0$ m für die Auswertungen zur Verfügung.

3.2.2 Gliederung nach Datenquelle

Als Material standen drei Datenquellen zur Verfügung. Mit 1003 Eschen und 685 Bergahorne stammte der Großteil des Datenmaterials aus Aufnahmen, die im Zuge der vorliegenden Untersuchung durchgeführt wurden. Aus Demonstrationsflächen und Vorarbeiten des Instituts für Waldwachstum standen weitere 94 Eschen und 81 Bergahorne zur Verfügung. Aus Diplomarbeiten, die zwar in allgemeinem thematischen Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit, jedoch mit verschiedenen Untersuchungsschwerpunkten angefertigt wurden, stammten 404 Eschen und 256 Bergahorne. Aufgrund der verschiedenen Datenquellen waren zum Auftreten von Zwieseln, dem Kronenansatz in verschiedenen Sektoren am Schaft und lebenden Sekundärästen teilweise keine Informationen vorhanden. Tabelle 3-4: zeigt die Anzahl der Bäume mit ihren Dimensions- und Zuwachsgrößen gegliedert nach den drei Datenquellen. Die Messungen an Solitären stammen vollständig aus eigenen Erhebungen.

Tabelle 3-4: Spannweiten ausgewählter Dimensions- und Zuwachsgrößen der gemessenen Eschen und Bergahorne gegliedert nach der Datenquelle, Bestandesbäume.

Dimensions- und Zuwachsgrößen	Esche			Bergahorn		
	Datenquelle: Eigene Messungen, (13 europäische Länder)					
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. - Max.	arith. Mittel
Baumhöhe: [m]	1003	7,4 – 45,8	23,34	684	4,6 – 37,8	20,37
Durchmesser in 1,3m Schafthöhe [cm]		3,5 – 96,5	29,78		3,4 – 88,8	29,69
Durchschnittl. Radialzuwachs: [mm]		0,8 – 6,3	2,92		1,1 – 6,8	2,82
Datenquelle: Messungen Institut für Waldwachstum, (Deutschland)						
Baumhöhe: [m]	94	8,3 – 27,1	17,66	81	12,7 – 27,7	19,06
Durchmesser in 1,3m Schafthöhe [cm]		4,6 – 34,3	16,21		7,8 – 37,2	16,49
Durchschnittl. Radialzuwachs: [mm]		1,2 – 6,1	2,79		1,4 – 8,5	3,92
Datenquelle: Messungen Diplomarbeiten, (Deutschland, Belgien)						
Baumhöhe: [m]	404	13,8 – 36,0	23,87	256	15,1 – 32,8	24,07
Durchmesser in 1,3m Schafthöhe [cm]		10,1 – 59,4	27,11		10,4 – 60,9	27,75
Durchschnittl. Radialzuwachs: [mm]		1,3 – 6,5	3,27		1,4 – 5,0	2,67
Summe:	1501			1021		

3.2.3 Gliederung nach Fragestellung

Durch die verschiedenen Quellen liegt den einzelnen Fragestellungen Material unterschiedlichen Datenumfanges zu Grunde. Tabelle 3-5: und Tabelle 3-6: zeigen die Anzahl der für die jeweilige Auswertung zur Verfügung stehenden Bäume zusammen mit verschiedenen Dimensions- und Wachstumsgrößen.

Tabelle 3-5: Anzahl der Eschen sowie Spannweiten ausgewählter Dimensions- und Zuwachsgrößen der gemessenen Bäume pro Fragestellung, Bestandesbäume und Solitäre.

Fragestellung, (Nummer der Frage- stellung)	Esche						
		Baumhöhe [m]		Durchmesser in 1,3 m am Schaft [cm]		Durchschnittlicher Radialzuwachs [mm]	
	Anzahl Bäume	Min.–Max.	arithm. Mittel	Min.–Max.	arithm. Mittel	Min.–Max.	arithm. Mittel
Astreinigung							
Modell Höhen- wachstum (1)	100	9,4 – 44,7	24,1	7,6 – 74,7	28,2	1,1 – 6,5	3,1
Triebblängenanalyse – Schaftachse (2)	62	5,7 – 36,5	19,1	6,3 – 58,0	23,9	1,1 – 6,5	3,3
Modell Kronenansatz Bestandesbäume (3)	919	8,1 – 45,8	24,4	3,5 – 96,5	30,9	0,8 – 6,1	2,8
Solitäre (4)	42	3,4 – 30,4	13,5	3,5 – 102,5	40,9	1,5 – 8,3	4,7
Kronenansatz in vier Sektoren am Schaft (5)	614	3,4 – 45,8	23,5	3,5 – 102,5	33,1	1,0 – 7,0	2,9
Modell astfreie Schaftlänge (6)	919	8,1 – 45,8	24,4	3,5 – 96,5	30,9	0,8 – 6,1	2,8
Primäräste – Bestandesbäume (7)	29	3,4 – 21,7	13,7	3,6 – 21,2	13,5	1,1 – 5,5	3,4
Solitäre (8)	7	5,7 – 15,6	11,1	9,9 – 58,0	34,6	2,9 – 6,5	4,2
Triebblängenanalyse – ih/is-Relation (9)	45	3,4 – 36,5	21,3	3,6 – 47,2	24,3	1,1 – 4,9	2,9
Überwallte Äste – natürliche Astreinigung (10)	44	10,5 – 31,1	20,8	7,6 – 31,0	19,6	1,1 – 5,5	3,1
Überwallte Äste – Ästung (11)	10	9,2 – 18,8	13,1	9,6 – 54,9	15,5	2,8 – 6,5	4,6
Lebende Sekundär- äste (12)	832	2,8 – 45,8	21,6	3,5 – 102,5	29,2	1,0 – 8,3	3,12
Dickenwachstum							
Kronenbreitenmodell Bestandesbäume(13)	1501	7,4 – 45,8	23,1	3,5 – 96,5	28,2	0,8 – 6,5	3,0
Solitäre (14)	42	3,4 – 30,4	13,5	3,5 - 102,5	40,9	1,5 – 8,3	4,7
Radialzuwachs – Stammscheiben Bestandesbäume(15)	123	3,4 – 44,7	28,3	3,6 – 86,4	41,8	1,1 – 5,5	2,7
Solitäre (16)	11	3,4 – 15,6	11,9	3,6 – 58,0	39,1	2,6 – 6,5	4,5
Jahringbreite – Bohrkerne, Solitäre (17)	29	7,8 – 20,1	14,7	12,4 – 79,2	46,9	1,5 – 8,3	4,2

Erfolgt die Untersuchungen für Bestandesbäume und Solitäre getrennt, werden Baumanzahl sowie Dimensions- und Wachstumsgrößen separat aufgeführt. Für die beiden zentralen Modelle zur astfreien Schaftlänge und zum Zusammenhang von Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser standen 919 beziehungsweise 1501 Eschen zur Verfügung (632 beziehungsweise 1021 Bergahorne).

Tabelle 3-6: Anzahl der Bergahorne sowie Spannweiten ausgewählter Dimensions- und Zuwachsgrößen der gemessenen Bäume pro Fragestellung, Bestandesbäume und Solitäre.

Fragestellung	Bergahorn						
	Anzahl Bäume	Baumhöhe [m]		Durchmesser in 1,3 m am Schaft [cm]		Durchschnittlicher Radialzuwachs [mm]	
		Min.–Max.	arithm. Mittel	Min.–Max.	arithm. Mittel	Min.–Max.	arithm. Mittel
Astreinigung							
Modell Höhenwachstum (1)	68	12,5 – 36,9	23,3	7,8 – 81,5	34,4	1,4 – 6,5	2,7
Triebblängenanalyse – Schaftachse (2)	31	8,1 – 25,1	17,2	7,8 – 60,2	23,6	1,4 – 6,5	3,3
Modell Kronenansatz Bestandesbäume (3)	632	5,1 – 37,8	24,4	3,8 – 88,8	31,1	1,1 – 6,0	2,7
Solitäre (4)	32	2,3 – 23,0	11,7	2,0 – 132,0	43,4	1,8 – 6,5	3,6
Kronenansatz in vier Sektoren am Schaft (5)	399	4,6 – 34,5	18,2	3,4 – 88,8	30,2	1,1 – 6,5	2,9
Modell astfreie Schaftlänge (6)	632	5,1 – 37,8	24,4	3,8 – 88,8	31,1	1,1 – 6,0	2,7
Primäräste – Bestandesbäume (7)	28	6,5 – 22,1	15,3	5,6 – 27,6	16,8	1,8 – 5,1	3,3
Solitäre (8)	1	12,5	-	35,1	-	6,5	-
Triebblängenanalyse – ih/is-Relation (9)	37	6,5 – 29,2	18,4	5,6 – 49,4	22,2	1,4 – 5,1	2,9
Überwallte Äste – natürliche Astreinigung (10)	25	13,7 – 34,0	18,1	7,8 – 65,9	20,2	1,8 – 6,8	2,9
Überwallte Äste – Ästung (11)	6	13,7 – 19,8	17,4	18,8 – 24,5	20,0	2,7 – 6,8	4,3
Lebende Sekundäräste (12)	653	2,3 – 36,9	20,0	2,0 – 92,9	29,8	1,1 – 6,8	2,9
Dickenwachstum							
Kronenbreitenmodell Bestandesbäume(13)	1021	4,6 – 37,8	21,2	3,4 – 88,8	28,2	1,1 – 8,5	2,9
Solitäre (14)	32	2,3 – 23,0	11,7	2,0 - 132,0	43,4	1,8 – 6,5	3,6
Radialzuwachs – Stammscheiben Bestandesbäume(15)	93	6,5 – 36,9	25,4	5,6 – 81,5	44,5	1,4 – 6,8	2,6
Solitäre (16)	5	3,5 – 16,9	13,3	4,5 – 60,2	43,0	2,3 – 6,5	4,7
Jahringbreite – Bohrkerne, Solitäre (17)	23	6,0 – 20,6	13,8	9,4 – 92,9	56,1	1,8 – 6,5	3,4

Die weiteren Auswertungen sind mit einer geringeren Anzahl an vermessenen Bäumen abgedeckt. Auch hier konnte jedoch für beide Baumarten eine vergleichbare Spreitung von

Baumhöhe, Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe und durchschnittlichem Radialzuwachs erreicht werden. Um eine Zuordnung der Kollektive zu den Untersuchungsflächen, der geographischen Lage und den standortkundlichen Informationen zu ermöglichen, erfolgt in der summarischen Darstellung der Untersuchungsflächen in eine Zuordnung zu den einzelnen Fragestellungen (Anhang I). Es ist dabei auch zu berücksichtigen, dass für das Höhenwachstumsmodell, für die Triebblängenanalyse entlang der Schaftachse und an Ästen, zur Untersuchung der lebenden und auch überwallten Primäräste sowie des jährlichen Radialzuwachses nur gefällte Bäume verwendet werden konnten.

3.2.4 Gliederung nach Ländern

Insgesamt verteilten sich 1501 Eschen- und 1021 Bergahornbestandesbäume auf die einzelnen Länder mit einem Schwerpunkt in Westeuropa, insbesondere in Deutschland, Belgien, Frankreich und Großbritannien (Tabelle 3-7:). Zusätzlich standen weitere 42 Eschensolitäre aus 4 Ländern und 32 Bergahornsolitäre aus 2 Ländern zur Verfügung.

Tabelle 3-7: Anzahl der in den einzelnen Ländern vermessenen Eschen und Bergahorne, Bestandesbäume und Solitäre.

Land	Esche	Bergahorn
Belgien	246	71
Dänemark	48	47
Deutschland	683	532
Frankreich	154	46
Großbritannien	83	131
Kroatien	37	25
Luxemburg	25	25
Niederlande	26	24
Österreich	28	41
Polen	46	16
Slowenien	23	25
Tschechien	97	25
Ungarn	5	13
Summe, Bestandesbäume:	1501	1021
Deutschland	31	30
Frankreich	4	-
Großbritannien	2	2
Niederlande	5	-
Summe, Solitäre:	42	32

3.2.5 Gliederung nach Begründungsform, Betriebsart und Mischung

Im Falle der Bestandesbäume stammte der überwiegende Teil der Eschen- und Bergahorne aus Pflanzung, annähernd ein Drittel der Bäume aus Naturverjüngung (Tabelle 3-8:). Die Eschensolitäre gingen überwiegend aus Naturverjüngung hervor, bei Bergahorn

dagegen aus Pflanzung. Bei einem geringeren Teil der Untersuchungsflächen und Einzelbäume war die **Begründungsform** weder aus den Unterlagen noch aus der Situation vor Ort zu ermitteln. Keine der Untersuchungsflächen wurde über Saat begründet. Die Pflanzverbände für die Eschenbestände reichten von 1,5 x 1,0 m bis 4,5 x 4 m und für Bergahornbestände von 2,5 x 1,0 m bis 4 x 3 m. Die Mischbestände wurden meist in Reihenmischungen begründet. Die Pflanzverbände variierten zwischen 1,5 x 1 m (ES-ES-BAH-BAH) und 8 x 1 m (ES-BAH)³².

Tabelle 3-8: Übersicht über die Begründungsformen der Untersuchungsflächen. Die Prozentzahlen bezeichnen die Anteile der Bäume aus den einzelnen Begründungsformen, Esche: N = 1501, Bergahorn: N = 1021, Bestandesbäume; 42 Eschen- und 32 Bergahornsolitäre.

	Esche		Bergahorn	
	Bestandesbäume	Solitäre	Bestandesbäume	Solitäre
Pflanzung: [%]	61,6	33,3	56,5	46,9
Naturverjüngung: [%]	32,0	52,4	36,4	31,3
Unbekannt: [%]	4,4	14,3	7,1	21,8

Mit Eschen und Bergahornen aus Mittelwäldern oder mittelwaldartiger Bewirtschaftung wurden auch Bäume aus unterschiedlicher Betriebsart ausgewählt. 33 Eschen stammten aus Beständen mit zur Zeit noch **aktiv ausgeübter Mittelwaldbewirtschaftung** (Bergahorn: 3 Bäume). Die übrigen Eschen und Bergahorne wurden - von den Solitären abgesehen - in Hochwaldbeständen gemessen. In der vorliegenden Arbeit wurden weitere 42 Eschen- und 32 Bergahornsolitäre in die Untersuchung integriert.

Tabelle 3-9: Anteile der gemessenen Eschen und Bergahorne aus Rein- und Mischbeständen, Esche: N = 1501, Bergahorn: N = 1021, Bestandesbäume.

		Esche	Bergahorn
Untersuchungsflächenweise Betrachtung	Reinbestand: [%]	66,2	56,3
	Mischbestand: [%]	33,8	43,7

Nach Klassifizierung der Untersuchungsflächen entsprechend dem in Kapitel 2.3.3 dargestellten Schema stammten die Eschen zu 66,2 % aus Reinbeständen (Bergahorn: 56,3 %, Tabelle 3-9:). Es überwogen Mischungen aus Esche und Bergahorn, gefolgt von Eschen-Bergahorn-Buchenbeständen. 74 Bäume konnten durch ihre Eigenschaft als Solitäre definitionsgemäß nicht in die Kategorien Rein- und Mischbestand aufgeteilt werden.

³² Zwei weitere Bestände wurden in Mischung im 4,5 x 4 m (Esche) und 2,25 x 2 m (Schwarzerle) Verband begründet. Ein Bestand wurde als Mischung von 3 Reihen Bergahorn und 5 Reihen Buche im 2 x 1 m Verband angelegt, ein weiterer als Mischung mit 4 Reihen Lärche, eine Reihe Bergahorn und eine Reihe Buche.

3.3 KENNDATEN DER TRIEBLÄNGENMESSUNGEN, ÄSTE, SCHEIBEN, BOHRKERNE UND ÜBERWALLTEN ÄSTE

3.3.1 Trieb­längen­messungen und Äste

Aus den Messungen der jährlichen Trieb­längen­zuwächse entlang der Schaftachse wurde das 7­jährige gleitende Mittel berechnet. Danach standen von 62 Eschen 582 berechnete Werte zur Verfügung (31 Bergahorne mit 261 Werten, Tabelle 3-10:).

Tabelle 3-10: Spannweiten ausgewählter Dimensions- und Zuwachsgrößen der lebenden Primäräste für die Fragestellung zur ih/is-Relation und des 7­jährigen gleitenden Mittels, Bestandesbäume.

Messgröße	Esche			Bergahorn		
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. – Max.	arith. Mittel
Trieb­längen­zuwachs – Schaftachse jährlich: [m]	700	0,01 – 2,40	0,46	616	0,01 – 1,69	0,49
Trieb­längen­zuwachs – Ast, jährlich: [m]		0,01 – 1,71	0,35		0,01 – 1,87	0,38
Astalter: [mm]		2 – 4	2,9		2 – 4	2,9
Trieb­längen­zuwachs – Schaftachse 7j-gleitend: [m]	582	0,07 – 1,20	0,54	261	0,04 – 1,20	0,55

Tabelle 3-11: Spannweiten ausgewählter Dimensionsgrößen der lebenden Primäräste für die Fragestellung zum Zusammenhang Astlänge-Astdurchmesser, Bestandesbäume und Solitäre.

Messgröße	Bestandesbäume					
	Esche			Bergahorn		
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. – Max.	arith. Mittel
Astdurchmesser: [cm]	170	0,5 – 7,4	2,4	142	0,6 – 7,7	2,9
Astlänge: [m]		0,18 – 8,07	2,7		0,39 – 8,40	3,0
Astansatzwinkel: [Altgrad]		0 – 85	45,5		5 – 85	43,8
Messgröße	Solitäre					
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. – Max.	arith. Mittel
	Astdurchmesser: [cm]	56	0,3 – 4,7	2,0	7	1,0 – 4,8
Astlänge: [m]	0,05 – 3,94		1,53	0,56 – 3,60		1,83
Astansatzwinkel: [Altgrad]	5 – 80		42,6	25 – 55		35,7

Die Daten wurden an den Bäumen gewonnen, die für die Stammanalyse gefällt wurden und deren Kronen bei der Fällung nicht zerstört worden waren. Zudem mussten mindestens 7 aufeinanderfolgende Trieb­längen­werte vorhanden sein. Für die jährliche und paarweise Gegenüberstellung von Trieb­längen­zuwächsen entlang der Schaftachse mit einem Astalter von 2 bis 4 Jahren konnten 700 Wertepaare von 45 Eschen sowie 616 Wertepaare von 37

Bergahornen berechnet werden. Für die Untersuchung des Zusammenhangs von Astlänge und Astdurchmesser standen 170 Äste von 29 Eschen und 142 Äste von 7 Bergahornen zur Verfügung (Tabelle 3-11:). Für die Analyse dieses Zusammenhangs bei Solitären waren 56 Eschenäste von 7 Eschen und 7 Äste von einem Bergahorn vorhanden.

3.3.2 Scheiben und Bohrkerne

Mit Abschluss der Außenaufnahmen standen Stammscheiben von insgesamt 134 Eschen und 98 Bergahornen zur Verfügung. Insgesamt wurden 899 Eschen- und 438 Bergahornstammscheiben an Bestandesbäumen gewonnen. Tabelle 3-12: stellt die Anzahl der Stammscheiben sowie Kennwerte des jährlichen Radialzuwachses gegliedert nach Entnahmehöhen am Schaft dar.

Tabelle 3-12: Anzahl der an den Eschen und Bergahornen gewonnenen Stammscheiben und Bohrkerne sowie des jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite gegliedert nach Entnahmehöhen am Schaft, Bestandesbäume und Solitäre.

Entnahmehöhe am Schaft: [m] – Stammscheibe	Bestandesbäume					
	Esche			Bergahorn		
		jährlicher Radialzuwachs (quadr. Mittel 8 Radian) [mm]			jährlicher Radialzuwachs [mm]	
	N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. - Max.	arith. Mittel
bis 2,49	241	0,2 – 14,7	2,9	129	0,1 – 12,7	2,8
2,5 – 7,49	145	0,4 – 10,3	2,7	93	0,2 – 10,3	2,6
7,5 – 12,49	181	0,2 – 8,6	2,7	97	0,2 – 8,4	2,3
12,5 – 17,49	161	0,3 – 7,7	2,5	64	0,1 – 6,9	1,9
17,5 – 22,49	94	0,4 – 6,9	2,1	35	0,2 – 5,9	1,5
22,5 – 27,49	51	0,2 – 6,3	1,8	17	0,3 – 4,5	1,4
27,5 – 32,49	25	0,2 – 5,0	1,6	3	0,6 – 3,0	1,3
> 32,49	1	0,3 – 3,7	1,1	-	-	-
Entnahmehöhe am Schaft [m] – Stammscheibe	Solitäre					
bis 2,49	19	0,2 – 12,4	4,5	13	0,01 – 9,1	4,6
2,5 – 7,49	18	0,2 – 7,0	2,7	7	0,8 – 8,9	4,2
7,5 – 12,49	6	0,5 – 3,8	1,7	2	0,6 – 4,9	2,9
> 12,5	-	-	-	1	0,9 – 4,2	2,0
Entnahmehöhe am Schaft [m]		Jahrringbreite [mm]			Jahrringbreite [mm]	
Bohrkern: 1,3	58	0,2 – 16,7	4,3	46	0,01 – 10,3	3,3

Bei lediglich 11 der Eschen- und 5 der Bergahornsolitäre war eine Gewinnung von Stammscheiben möglich. Es konnten dort 43 Eschen- und 23 Bergahornstammscheiben gewonnen werden. Pro Baum konnten zwischen 4 und 12 Stammscheiben entnommen werden. An 29 Eschen- und 26 Bergahornsolitären wurden je zwei Bohrkerne pro Baum entnommen. An 2 Eschen- und 4 Bergahornsolitären war es auf Wunsch des Grundstück-

besitzers nicht möglich Bohrkerne zu entnehmen. Bohrkerne wurden ausschließlich an Solitären gewonnen.

3.3.3 Überwallte Äste

Für die Untersuchung der **Überwallung nach natürlicher Astreinigung** standen 635 vollständig überwallte Äste von Eschen und 336 überwallte Äste von Bergahornen zur Verfügung (Tabelle 3-13:). Die vollständig überwallten Äste stammten von 44 Eschen und 25 Bergahornen. Es wurden nur überwallte Äste mit einem Radius des asthaltigen Kerns von 200 mm in die Untersuchung einbezogen. Es wurde dabei unterstellt, dass der für die Produktion von Qualitätsholz maßgebliche gesamte asthaltige Kern unter 40 cm liegt.

Tabelle 3-13: Bandbreite der Messungen an den vollständig überwallten Ästen aus natürlicher Astreinigung und Ästung bei Esche und Bergahorn, Bestandesbäume.

Messgröße		Esche			Bergahorn		
		N	Min. – Max.	arith. Mittel	N	Min. – Max.	arith. Mittel
Überwallungsdauer: [J]	Natürliche Astreinigung	635	1 – 26	7,7	336	1 – 46	7,0
	Ästung	30	1 – 7	2,8	41	1 – 11	3,8
Radius asthaltiger Kern: [cm]	Natürliche Astreinigung		1,3 – 16,5	6,0		0,8 – 19,0	6,2
	Ästung		0,8 – 18,0	5,3		4,7 – 11,0	8,2
Astdurchmesser: [cm]	Natürliche Astreinigung		0,2 – 4,9	1,5		0,2 – 4,8	1,3
	Ästung		0,4 – 6,5	1,9		0,5 – 5,0	2,2
Radialzuwachs in der Lebenszeit: [mm]	Natürliche Astreinigung		0,97 – 7,07	4,2		1,21 – 7,28	3,9
	Ästung		3,1 – 6,2	4,7		2,5 – 7,3	4,8
Radialzuwachs in der Überwallungszeit: [mm]	Natürliche Astreinigung		0,67 – 8,79	3,3		1,04 – 7,86	3,5
	Ästung		2,53 – 9,69	6,0		1,47 – 8,10	5,3
Astansatzwinkel: [Altgrad]	Natürliche Astreinigung		15 – 95	65		12 – 97	62
	Ästung		39 – 90	66,5		39 – 86	57,7

Aus dem Eschenkollektiv lagen 2 bis maximal 36 vollständig überwallte, im Mittel 14 Äste vor (1 – 40/ 13 für Bergahorn). Für die Untersuchung der **Überwallung nach Ästung** standen 30 Eschen- und 41 Bergahornäste von 10 geästeten Eschen und 6 Bergahornen zur Verfügung³³.

³³ Die Flächen, auf denen Ästungen erfolgt waren, standen nicht mehr den Auswertungen zur tot- und lebendastfreien Schaftlänge zur Verfügung. Dies gilt nicht für die Fläche AH_04, bei der die natürliche Astreinigung nach Ästung schon wieder eingesetzt hatte.

4 DYNAMIK DER ASTREINIGUNG

Die Untersuchung zur Astreinigung gliedert sich in sechs Abschnitte. Zunächst werden von NUTTO (1999) entwickelte Modellansätze zur Entwicklung der Kronenansatzhöhe, der astfreien Schaftlänge und der inneren Ästigkeit auf ihre Eignung für Esche und Bergahorn untersucht. Diese Modellansätze benötigen zur späteren Prognose der Kronenansatzhöhe und astfreien Schaftlänge quantitative Vorstellungen zum Höhenwachstum. Aus diesem Grund wird diesen Abschnitten zunächst eine Analyse des Höhenwachstums von Esche und Bergahorn vorgeschaltet. Die Berechnungen zum Wachstum und zur Überwallung von Primärästen nach natürlicher Astreinigung leiten von der baumweisen zur astindividuellen Modellierung der Astreinigung über. Den Ergebnissen zur natürlichen Astreinigung wird eine explorative Untersuchung der Wachstumsgesetzmäßigkeiten nach Ästung gegenübergestellt. Nach den Darstellungen zur Astreinigung von Primärästen schließt eine Analyse des Auftretens von lebenden Sekundärästen die Untersuchung der Dynamik der Astreinigung ab. Innerhalb der einzelnen Abschnitte wird entsprechend den Zielsetzungen der Arbeit auf die baumartspezifischen Unterschiede zwischen Esche und Bergahorn eingegangen.

4.1 ENTWICKLUNG DES HÖHENWACHSTUMS

4.1.1 Modellierung des Höhenwachstums

Zur Untersuchung des Höhenwachstumsverlaufs und zur Herleitung eines Höhenwachstumsfächers wurden die Daten aus der Stammanalyse für vorherrschende, herrschende und mitherrschende Eschen und Bergahorne herangezogen. Ziel dieses Teils der Untersuchung war es, ein **Modell zum Höhenwachstum** von Esche und Bergahorn zu entwickeln. Dabei sollte insbesondere der Wachstumsverlauf in jungen Entwicklungsstadien untersucht werden, um daraus Grundlagen für Entscheidungshilfen zur Steuerung der Astreinigung ableiten zu können. Abbildung 4-1: zeigt die Höhenentwicklung für beide Baumarten in Form von Wolf'schen Richtungselementen für den jährlichen Höhenzuwachs in Abhängigkeit von Alter und Höhe des Einzelbaumes.

Auffällig ist der insgesamt steil ansteigende Höhenwachstumsverlauf für Esche und Bergahorn. Ab einem Alter von ca. 40 Jahren ist ein Abflachen der Höhenzuwächse zu erkennen. Auf den besten Standorten erreicht die Esche maximale Baumhöhen bis 20 m in 20 Jahren beziehungsweise 34 m in 80 Jahren. Der Bergahorn zeigt gegenüber der Esche auf den besten Standorten ein etwas geringeres Höhenwachstum. Maximale Höhen von 20 Metern werden erst in einem Alter von 25 bis 30 Jahren erreicht. In einem Alter von 80 Jahren stellen Baumhöhen von 30 Metern Maximalwerte für den Bergahorn dar. Bei beiden Baumarten sind über den gesamten Bereich der Altersspreitung Überschneidungen zu beobachten. Insgesamt konnten 8 Eschen und 2 Bergahorne mit deutlich abweichendem Verlauf des Höhenwachstums nicht in die weiteren Berechnungen einbezogen werden, weil

dadurch die Bedingung zur Verwendung des Wolf'schen Richtungsfeldes zu sehr verletzt schien. Als Ursache für den deutlich abweichenden Höhenwachstumsverlaufs dürften standörtliche Einflüsse sowie vor der Fällung nicht erkannte Kronenbrüche in Betracht kommen.

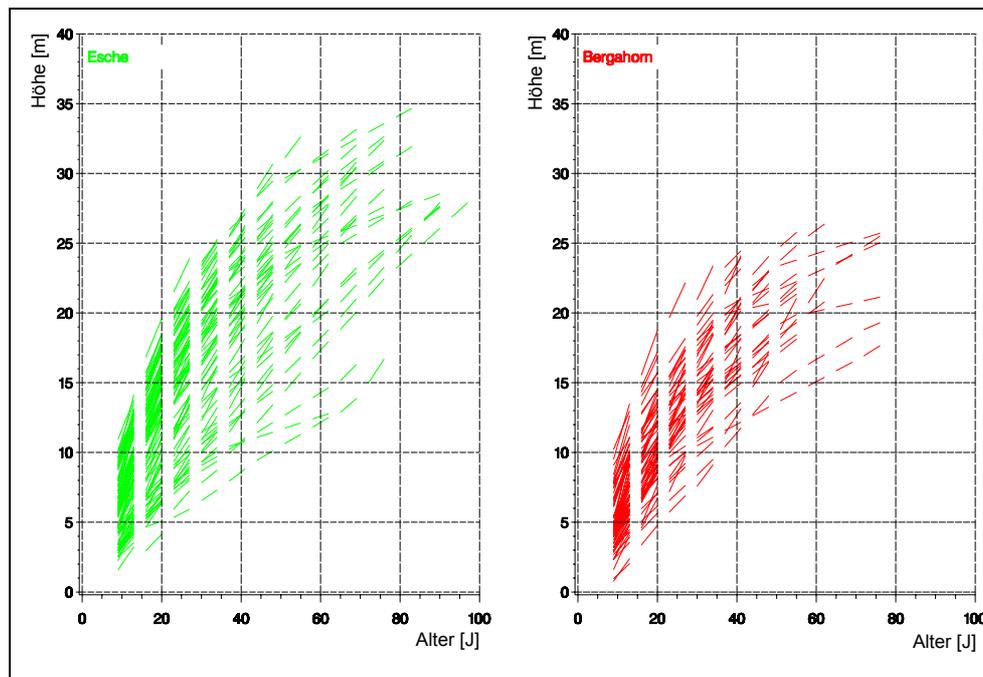


Abbildung 4-1: Höhenzuwächse der Eschen (links) und Bergahorne (rechts) ab Alter 10 J im Wolf'schen Richtungsfeld, Darstellung als Wertetripel aus Höhenzuwachs, Alter und Höhe, Bestandesbäume.

Mit dem von SLOBODA (1971) konzipierten Höhenwachstumsmodell konnte eine gute Anpassung der vorhergesagten Werte an das Datenmaterial erreicht werden. Als Datengrundlage wurden 100 Eschen und 68 Bergahorne verwendet. Um Einflüsse auf das Höhenwachstum in der frühen Jugend, bedingt durch starke Überschirmung, Verbiss oder Anwuchsschwierigkeiten nach der Pflanzung zu vermeiden, gingen nur Höhenzuwächse ab einem Alter von 10 Jahren in die Auswertungen ein. Baumhöhenmessungen wurden nicht verwendet, um durch Ungenauigkeiten bei der Höhenmessung eventuelle, nicht auf Wachstumsabläufe zurückzuführende größere Streuungen in höherem Alter zu vermeiden. Es standen insgesamt für die Esche 543 Höhenzuwachswerte als 7jähriges gleitendes Mittel zur Verfügung (Bergahorn: 298). Die Richtungselemente konnten über die verwendete Differenzialgleichung mit Hilfe einer nichtlinearen Regression gut geschätzt werden. Die Bestimmung der Funktionsparameter im Iterationsverfahren erbrachte die in Tabelle 4-1: dargestellten Ergebnisse. Die durchschnittliche absolute Abweichung beträgt $\pm 0,09$ m für Esche (Bergahorn: $\pm 0,11$ m). Die maximale absolute Abweichung von $0,30$ m bei Esche (Bergahorn $0,53$ m) für ein einzelnes Richtungselement zeigt jedoch auch, dass punktuell

größere Fehlschätzungen auftreten können. In der Gegenüberstellung der gemessenen und vorhergesagten Werte zeigt sich grundsätzlich ein guter Ausgleich durch die Schätzfunktion, es ist jedoch für beide Baumarten eine Tendenz zur Überschätzung geringer Werte und Unterschätzung hoher Zuwachswerte sichtbar (Abbildung 4-2). Die **Analyse der Residuen** ergab keinen Hinweis auf eine Verzerrung der Modellergebnisse. Die Residuen zeigen in der Darstellung über dem Alter eine leicht abnehmende Streuung, die jedoch auf die geringere Datengrundlage in höherem Alter zurückgeführt werden kann. In der Darstellung über der Höhe zeigen die Residuen einen ausgeglichenen Verlauf.

Tabelle 4-1: Ergebnisse der nicht-linearen Regressionsmodells zur Berechnung des Höhenwachstums, Gleichung 1, Esche: N = 543; Bergahorn: N = 298, Bestandesbäume.

Parameterbezeichnung (Gleichung 1)	Esche		Bergahorn	
	Parameterschätzer	asymptotischer Standardfehler	Parameterschätzer	asymptotischer Standardfehler
a	0,9237	0,0345	0,9346	0,0699
b	0,3520	0,0202	0,4253	0,0506
c	92,3368	13,2031	63,5047	14,4811

Die Schwankungsbreite der Residuen bleibt in einem Bereich von $\pm 0,25$ m bei Esche. Für den Bergahorn sind einzelne größere Abweichungen erkennbar. Bedeutende systematische Schätzfehler durch die Art der verwendeten Funktion konnten nicht beobachtet werden. Die Analyse der Residuen nach Gruppen einheitlicher Begründungsart, Betriebsart, sozialer Klasse nach KRAFT sowie der Herkunft der Bäume aus Rein – oder Mischbeständen ließ für keine dieser Gruppen gerichtete Fehlschätzungen erkennen. Die Wahl des vorliegenden Modells erscheint deshalb angemessen. Die Analyse der Residuen des Bergahorn zeigte vergleichbare Verhältnisse.

Als Basisalter für die Berechnung der absoluten Höhenbonitäten wurde 60 Jahre festgelegt. Damit sollte die Möglichkeit zur Bonitätseinschätzung auch bei sehr kurzen Produktionszeiträumen eröffnet werden. Zu diesem Zeitpunkt erreichte der Großteil der einer Stammanalyse unterzogenen Eschen Höhen von 18 bis 32 m (Bergahorn: 15 bis 26 m). Daraus wurden fünf absolute Höhenbonitäten im Alter 60 Jahre mit 21 m, 24 m, 27 m, 30 m und 33 m abgeleitet (Bergahorn, bei gleichem Basisalter: 18 m, 21 m, 24 m, 27 m und 30 m). Abbildung 4-3: zeigt den modellhaften Höhenwachstumsverlauf für die Höhenbonitäten von Esche und Bergahorn. Auffallend ist der sehr steile Anstieg der besten Höhenbonitäten bis zu einem Alter von 40 Jahren. Der Zuwachsverlauf ist durch einen steilen Anstieg in der Jugend gekennzeichnet. Der Kulminationszeitpunkt liegt je nach Höhenbonität zwischen 4 und 15 Jahren für Esche (Bergahorn: 4 bis 13 Jahre). Im Alter von 60 Jahren liegt der Höhenzuwachs der Eschen mit nur geringen Unterschieden zwischen den Höhenbonitäten bei 0,26 m (Bergahorn 0,21 cm). Da bei Esche für Baumalter über 80 Jahren nur wenige Daten vorlagen (Bergahorn: 60 Jahre) und danach leichte Überschneidungen der Höhenzuwachskurven auftraten, wurde die Gültigkeit des Höhenwachstumsfächers auf diese Obergrenze festgelegt.

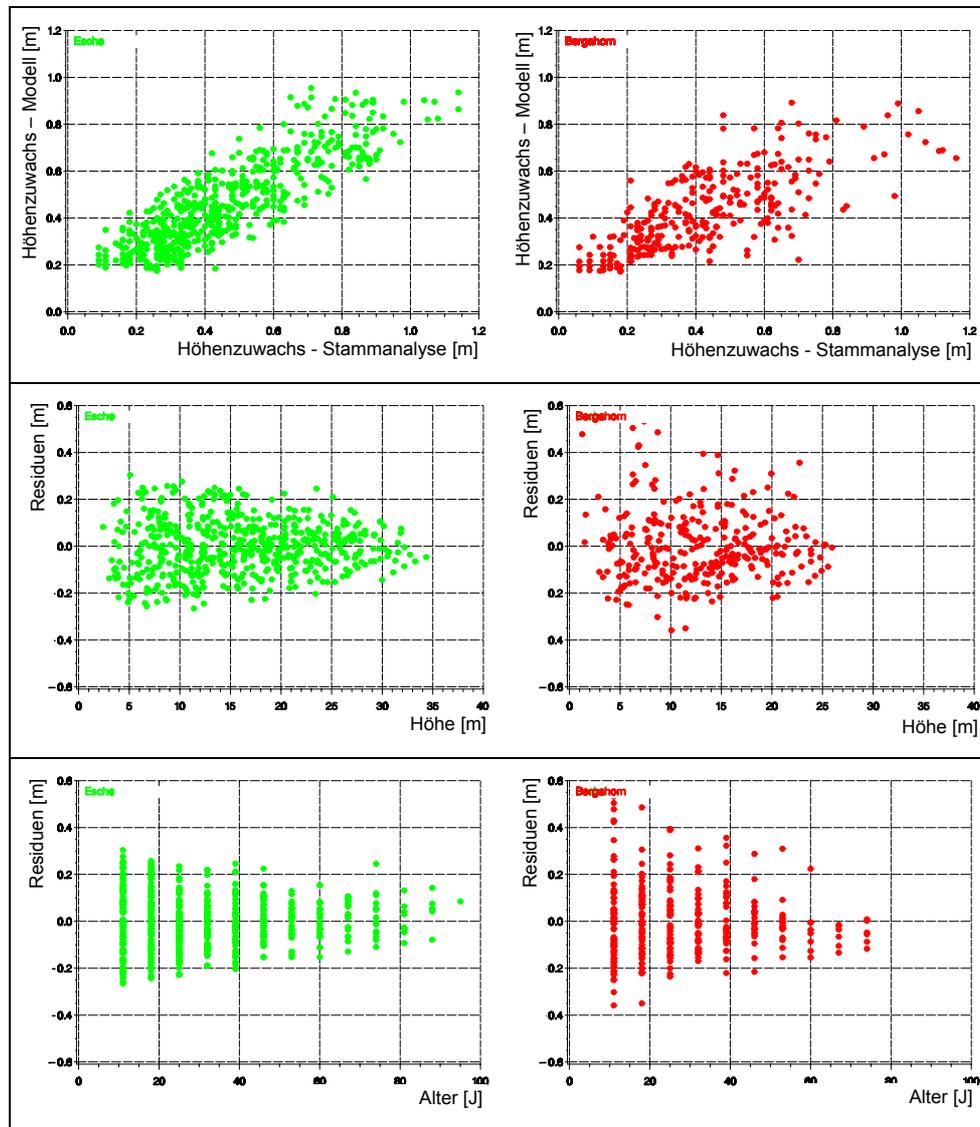


Abbildung 4-2: Überprüfung der Modellergebnisse zum Höhenwachstum. Oben: Gegenüberstellung des Höhenzuwachses (Modell) mit den aus der Stammanalyse erhaltenen Werten. Mitte und unten: Darstellung der Residuen über den unabhängigen Variablen Alter und Höhe, (Esche: links, Bergahorn: rechts), Bestandesbäume.

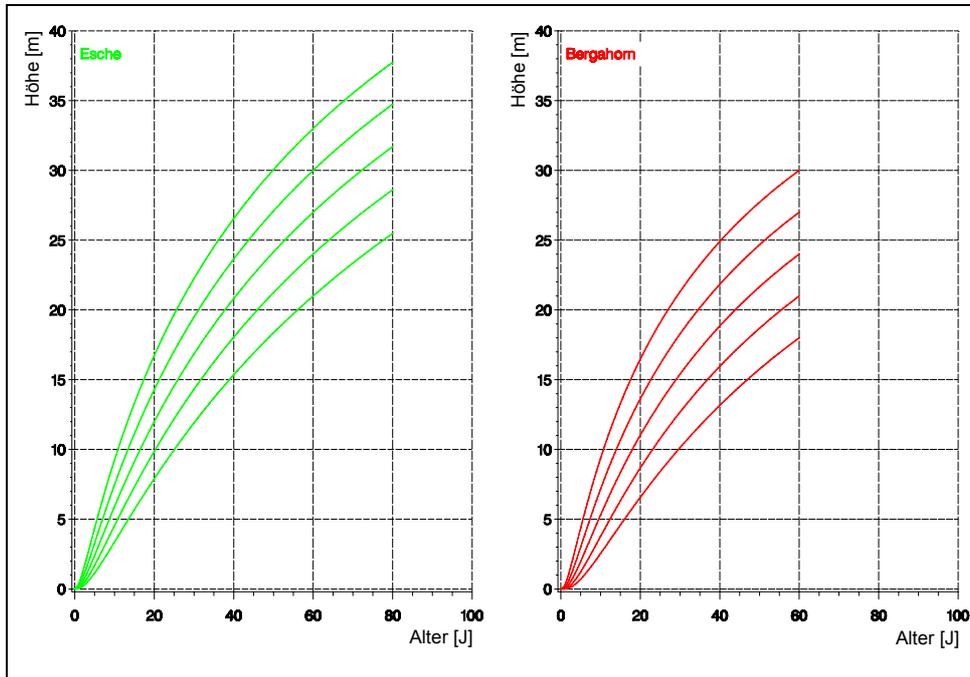


Abbildung 4-3: Höhenwachstumsverlauf für absolute Höhenbonitäten im Alter 60 Jahre von 33 m, 30 m, 27 m, 24 m und 21 m für Esche (links) und von 30 m, 27 m, 24 m, 21 m, 18 m für Bergahorn (rechts), Bestandesbäume.

4.1.2 Höhenzuwachs und Triblängenzuwachs entlang der Schaftachse

Zur Überprüfung der aus der Stammanalyse vorhergesagten jährlichen Höhenzuwächse wurden zusätzlich **Messungen der jährlichen Triblängenzuwächse entlang der Schaftachse** vorgenommen. Die Daten wurden an den Bäumen gewonnen, die für die Stammanalyse gefällt wurden und deren Kronen bei der Fällung nicht zerstört worden waren. Die Überprüfung der Datierungsgenauigkeit der jährlichen Triblängenzuwächse erfolgte entsprechend der in Kapitel 2.7.1 dargestellten Methoden. Es standen danach 582 Messwerte (62 Eschen) und 261 Messwerte (31 Bergahorne) zur Verfügung. Aus Abbildung 4-4: ist die prinzipiell Übereinstimmung mit dem Höhenwachstumsmodell erkennbar. Es ergeben sich jedoch bei Esche Überschätzungen des Höhenwachstumsmodells von den Triblängenmessungen in einem Altersbereich von 30 - 40 Jahren. Zu dem weist das Modell für beide Baumarten eine geringere Spreitung der Zuwachsverläufe als die Werte der Triblängenanalyse auf. Für den Bereich von 0 bis 10 Jahren sind nur wenige Daten vorhanden. Der steile Zuwachsabfall zwischen 15 und 40 Jahren ist auch hier erkennbar. Die Streuung der Werte weist jedoch darauf hin, dass zu bestimmten Zeitpunkten deutlich höhere, aber auch niedrigere Höhenzuwächse erreicht werden können. Als Hauptursache für diesen Trend werden für das Höhenwachstum

günstige, mittelfristig lange andauernde Witterungsbedingungen angesehen. Beim Vergleich der Triblängenzuwächse mit den Höhenzuwächsen aus der Stammanalyse ist jedoch zusätzlich die systematische Überschätzung des Höhenzuwachses durch die Triblängenmessung auf Grund der fehlenden Orientierung im Raum zu berücksichtigen.

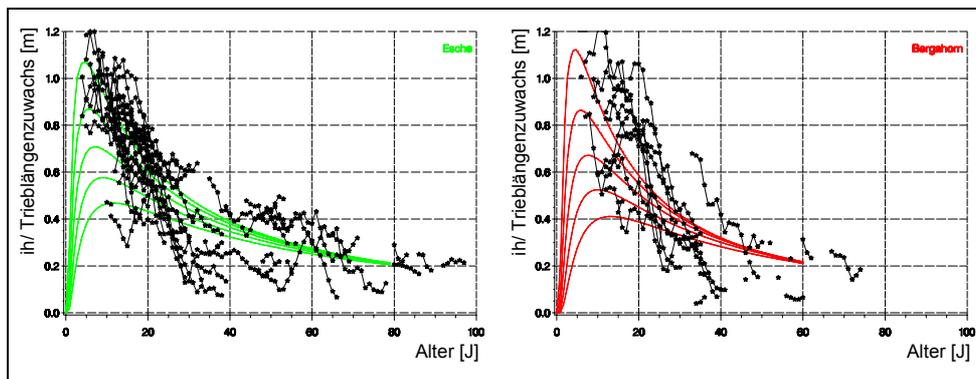


Abbildung 4-4: Überprüfung des aus dem Modell berechneten Höhenzuwachsverlaufes durch Messungen jährlicher Triblängenzuwächse entlang der Schaftachse (7jähriges gleitendes Mittel, Esche: links, Bergahorn: rechts), Bestandesbäume.

4.2 ENTWICKLUNG DES KRONENANSATZES

4.2.1 Modellierung der Kronenansatzhöhe

Die Entwicklung der Höhe des Kronenansatzes unterliegt bestimmten Wachstumsgesetzmäßigkeiten. Freier Wuchsraum im Kronenbereich wird in horizontaler und vertikaler Richtung durch das Astwachstum eines Baumes besetzt, zusätzlich konkurriert jeder Baum gemeinsam mit seinen Nachbarn um diese Ressource. Die Konkurrenz von Bäumen, die sich auf diese Weise beeinflussen, wirkt sich auch auf die Veränderung des Kronenansatzes aus. Dabei bewirkt die Beschattung des unteren Teils der Krone für die Äste eine Schwächung ihrer Vitalität, die bis zum Absterben und damit zur Verlagerung des Kronenansatzes führen kann.

Die **Entwicklung der Kronenansatzhöhe konnte mit einem multiplen Regressionsmodell (Gleichung 3, Kapitel 2.1.2) beschrieben werden**. Dabei konnten die Variablen Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser und Baumalter sowie die Interaktion des Vorhandenseins von Zwieseln mit der Baumhöhe (Esche) bzw. das Auftreten von Zwieseln als eigenständige Variable (Bergahorn) die Kronenansatzhöhe zu einem hohen Anteil erklären. Der Wertebereich des Modells wird aus Tabelle 4-2: ersichtlich.

Tabelle 4-2: Wertebereiche für die einzelnen Variablen des Kronenansatz- und Modells zur astfreien Schaftlänge für Esche und Bergahorn, (Esche: N = 919, Bergahorn: N = 632), Bestandesbäume.

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn
Höhe des Kronenansatzes: h_{Kr} [m]	2,7	0,2	28,4	19,4	11,9	9,4	5,00	4,01
Astfreie Schaftlänge: $l_{astfrei}$ [m]	1,6	0,2	28,4	18,7	10,7	8,7	4,95	3,89
Höhe des Baumes: h_B [m]	8,1	5,1	45,8	37,8	24,4	21,7	7,80	6,77
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	3,5	3,8	96,5	88,8	30,9	31,1	18,09	16,73
Zwiesel (dimensionlos, zwei diskrete Werte)	0 (= kein Zwiesel)		1 (= Zwiesel)		-		-	
Alter des Baumes: a_B [J]	10	10	205	179	58	61	35,89	34,29

Mit der **schrittweisen Regression** konnten im Gesamtmodell 75 % der Streuung der Messwerte erklärt werden (Tabelle 4-3:). Der Zusammenhang zwischen den Variablen ist mit einer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit abgesichert ($\alpha = 0,0001$). Der größte Anteil der Streuung konnte allein durch die Baumhöhe als unabhängige Variable erklärt werden. Auch der Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe und die Eigenschaft des untersten grünen Primärastes, ein Zwiesel zu sein, konnte zur Verbesserung des Modells beitragen. Das Baumalter trägt nur zu 2 % zur Verringerung der Streuung bei. Für Esche konnte die Interaktion von Baumhöhe mit dem **Auftreten von Zwieseln** als signifikant bestätigt werden. Für Bergahorn konnte keine signifikante Interaktion nachgewiesen werden. Damit ist von einem Einfluss von Zwieseln auf die Höhe des Kronenansatzes auszugehen. Durch die Integration des Auftretens von Zwieseln in die Formulierung des Zusammenhangs konnte bei Esche ein beträchtlicher Vorteil bei der Erklärung der Streuung der Kronenansatzhöhen erreicht werden. Eine vergleichende Modellformulierung ohne den Zwiesel als Attribut zur Höhe des Kronenansatzes brachte zum einen eine Verringerung der mit dem Modell erklärten Varianz, zum anderen führte dies zu einer gerichteten Unterschätzung der Kronenansatzhöhen ab 15 m. Fast alle als Zwiesel gekennzeichneten Kronenansätze lagen dabei in einem lockeren Streuband oberhalb der Winkelhalbierenden der Abbildung 4-5:.. Daraus wurde deutlich, dass ein Modell ohne Berücksichtigung einer eventuellen Zwieseleeigenschaft des untersten grünen Primärastes der Krone den Kronenansatz solcher Bäume systematisch überschätzt.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der schrittweisen Regression und der Varianzanalyse für Esche und Bergahorn für die einzelnen Variablen des Kronenansatzmodells, * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test), Esche: $N = 919$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,76$; Bergahorn: $N = 632$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,69$, Gleichung (3), Bestandesbäume.

Variable	Parameter-schätzer		Standardfehler des Schätzers		Partielles r^2		Variance Inflation Factor	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	-2,066*	-0,843*	0,294	0,310	-	-	-	-
Höhe des Baumes: h_B [m]	0,760*	0,643*	0,019	0,021	0,53*	0,51*	3,2	2,7
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	-0,191*	-0,172*	0,009	0,010	0,10*	0,13*	4,4	3,5
Höhe des Baumes *Zwiesel: $h_B \cdot 0/1$	-0,148*	-	0,008	-	0,11*	-	3,6	-
Zwiesel (dimensionlos, zwei diskrete Werte: 0/1)	-	-2,384*	-	0,310	-	0,03*	-	1,0
Alter des Baumes: a_B [J]	0,034*	0,029*	0,004	0,005	0,02*	0,02*	1,1	3,6

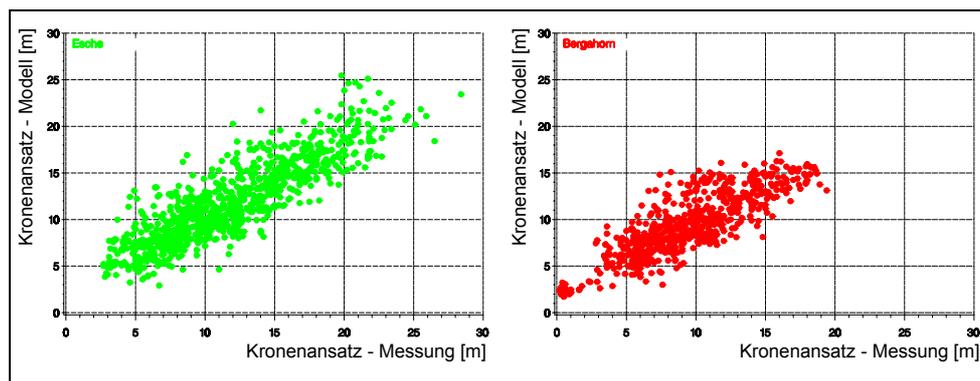


Abbildung 4-5: Gegenüberstellung der gemessenen Werte des Kronenansatzes mit den Werten des Modells, links: Esche, rechts: Bergahorn, Bestandesbäume.

Die Überprüfung der unabhängigen Variablen auf **Kollinearität** mittels des Variance Inflation Factor ergab keinen Hinweis auf übermäßig hohe gegenseitige Abhängigkeit von Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser und Baumalter, so dass es zu einer fast zufälligen Auswahl der erklärenden Variablen kommen könnte. In keinem Fall überschreitet die Teststatistik VIF einen Wert von 5. Dennoch muss für die Interpretation der Ergebnisse darauf hingewiesen werden, dass die restlichen während der Regression eliminierten Variablen durchaus einen Einfluss auf die Beziehung haben können. Es kann hier somit nur gesagt werden, dass bei gleichzeitiger Berücksichtigung der drei unabhängigen Variablen weitere Variablen keinen zusätzlichen Beitrag zur Erklärung des Modells leisten (vgl. HARTUNG et al. 1998). Dies ist bei der inhaltlichen Interpretation zu beachten. Die Formulierung des Kronenansatzmodells wurde so gewählt, dass zur Vorhersage eines Baumes ohne Zwiesel der Wert "0" gesetzt werden kann und somit die Höhe des

Kronenansatzes nur von den übrigen drei Variablen bestimmt wird. Es muß dabei betont werden, dass das vorliegende Modell nur für das zugrundeliegende Datenmaterial die Höhe des ersten grünen Primärastes vorhersagen kann, wenn es sich um einen Zwiesel handelt. Bei einem anderen Datenkollektiv und unter anderer Konstellation zwieselverursachender Umstände kann sich dieser Wert beträchtlich ändern.

Die **Residuen** streuen annähernd gleichmäßig über den unabhängigen Variablen (Abbildung 4-6:). Da für ein Baumalter über 160 Jahren für die Baumart Esche nur 6 weitere Beobachtungen vorlagen, wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine grafische Darstellung verzichtet. Die Streuung des Gesamtmaterials ist groß. Der überwiegende Teil der Werte liegt innerhalb einer Spreitung von -6 und $+6$ m beidseits der Nulllinie. Heteroskedastizität der Residuen sowie eine Abweichung von der Normalverteilung konnte nicht bestätigt werden. Die Überprüfung der Residuen auf gegenseitige Abhängigkeit ergab eine geringe positive Autokorrelation. Die aus dem Datenmaterial berechnete Teststatistik von $DW = 1,60$ (Esche, Bergahorn: 1,61) unterschreitet im vereinfachten, zweiseitigen Test geringfügig den aus den Tabellenwerken geforderten oberen Schwellenwert bei einer beidseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$. Die Variation des Standardfehlers kann deshalb leicht unterschätzt werden, die Vertrauensintervalle tendenziell zu eng angenommen und wahre Nullhypothesen früher verworfen werden. Da jedoch eine gewichtete Regression mit transformierten Variablen nur geringe Unterschiede in den vorhergesagten Werten gab und zusätzlich die sonstigen Prüfstatistiken eine gute Eignung der Modellformulierung anzeigten, wurde das Originalmodell beibehalten.

Zusätzlich wurde auch das Verhalten der Residuen einzelner Teilkollektive des Datenmaterials grafisch und statistisch auf Besonderheiten überprüft. Weder die Begründungsart (Pflanzung, Naturverjüngung, unbekannt), die Betriebsarten (Hochwald, Mittelwald, außer Solitäre) noch für die Herkunft des Baumes aus einer Reinbestands- oder Mischbestandsaufnahme fläche ließ sich ein signifikanter Einfluss auf die Höhe des Kronenansatzes oder signifikante Interaktionen mit anderen unabhängigen Variablen feststellen. Auch aus der Streuung der Residuen der Teilkollektive ließ sich keine gerichtete Fehlschätzung erkennen.

Da mit größeren Schaftdurchmessern in 1,3 m Höhe und für hohe Radialzuwächse nur wenige Beobachtungen vorhanden waren, wurde die Gültigkeit des Modells für den Brusthöhendurchmesser nach Stufen durchschnittlicher Radialzuwächse festgelegt. Für Radialzuwächse über 4,5 mm endet für beide Baumarten die **Gültigkeit des Modells** bei einem Schaftdurchmesser von 60 cm (ansonsten: 80 cm). Damit sollen Fehlschätzungen durch Extrapolationen über das Datenmaterial hinaus vermieden werden. Das Höhenwachstum muss dem in Kapitel 4.1.1 dargestellten Wachstumsgang annähernd folgen. Für die Höhenbonitäten 21 m (Esche) sowie für die Höhenbonitäten 21 und 18 m (Bergahorn) der hier vorgelegten Höhenwachstumsmodelle lagen keine Bäume mit durchschnittlichen Radialzuwächsen über 4,5 mm vor; ebenso auch für die Höhenbonität 18 m (Bergahorn) mit durchschnittlichen Radialzuwächsen über 3,5 mm.

Das Modell ermöglicht die Schätzung der Höhe des Kronenansatzes in ihrer Dynamik (Abbildung 4-7:). Unter den Wachstumsbedingungen der Höhenbonität 33 m (Basialter: 60 J) und bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm kann für die

Esche bei einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm eine durchschnittliche Kronenansatzhöhe von 21,4 m erwartet werden (Produktionszeit: 100 J).

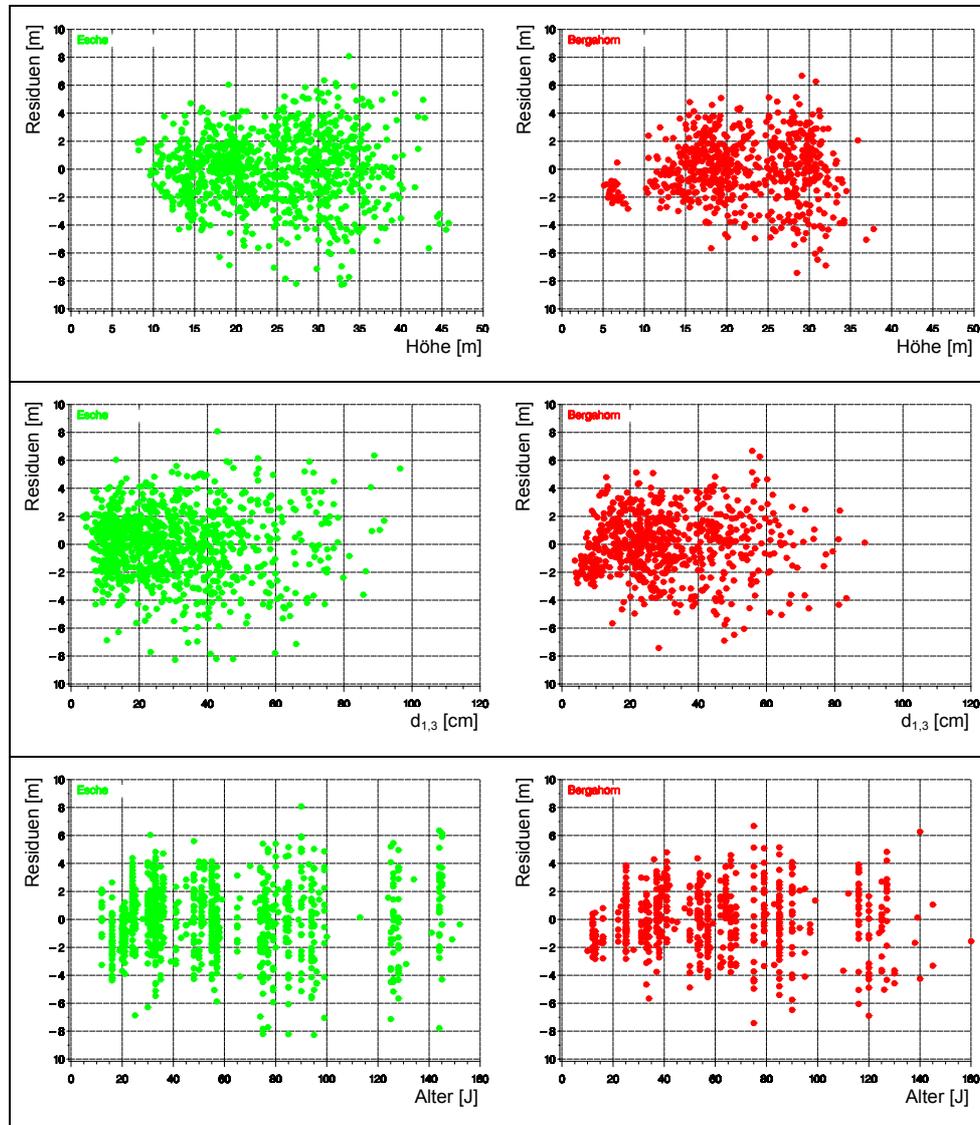


Abbildung 4-6: Residuen aus dem Kronenansatzmodell über den drei unabhängigen Variablen Baumhöhe (oben), Brusthöhendurchmesser (Mitte) und Baumalter (unten), links: Esche, rechts: Bergahorn, Bestandesbäume.

Bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm liegt die Kronenansatzhöhe unter sonst gleichem Wachstum bei 16,6 m und damit 4,8 m tiefer. Es ist dabei auch die mit 75 Jahren um 25 Jahre kürzere Produktionszeit zu beachten. Bei geringeren Höhenbonitäten liegt die Kronenansatzhöhe zum Ende der Produktionszeit entsprechend tiefer.

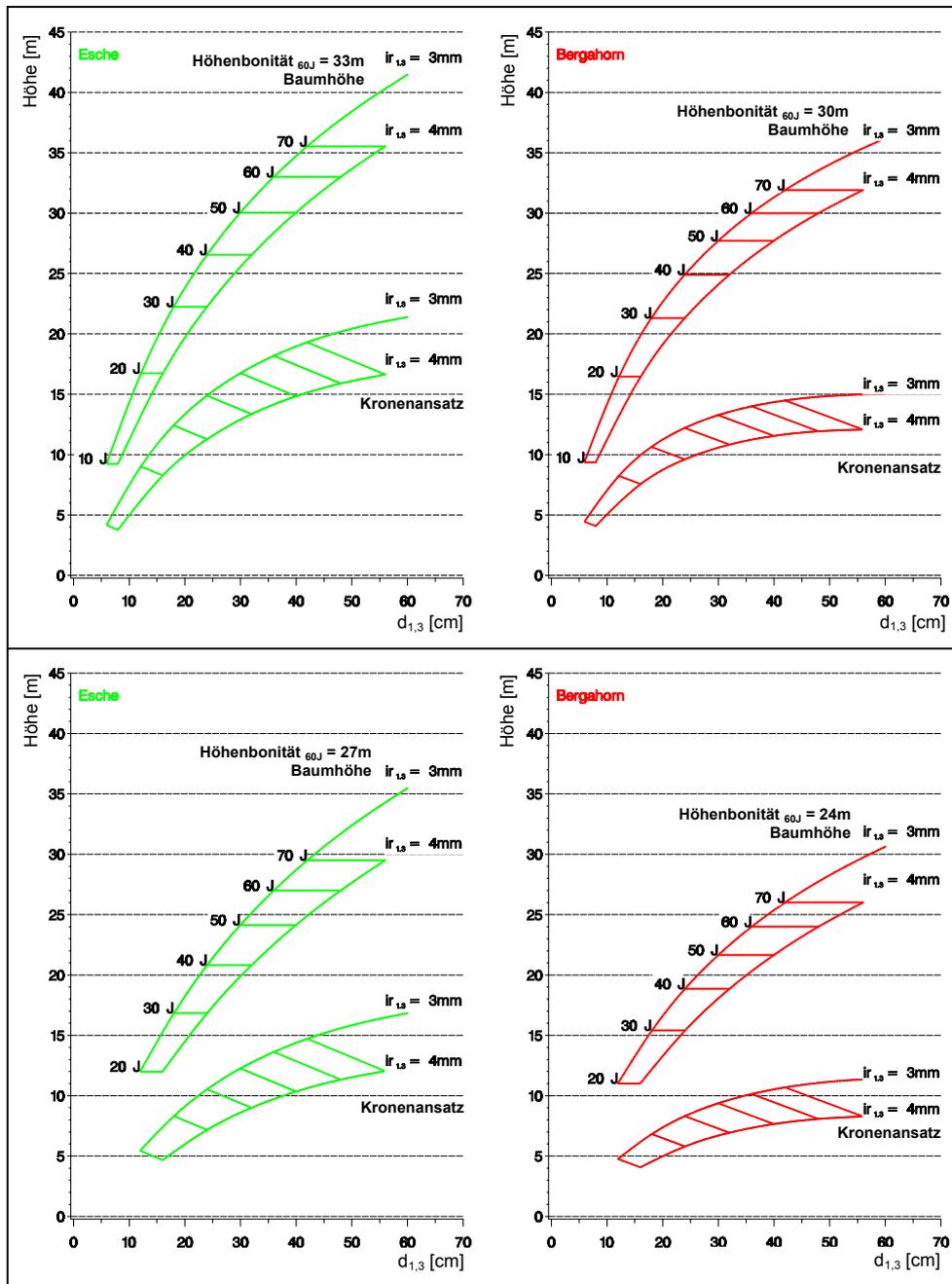


Abbildung 4-7: Baumhöhe und Kronenansatzhöhe über dem Brusthöhendurchmesser für die Höhenbonität 33 m und 27 m (Esche, links) und die Höhenbonität 30 m und 24 m (Bergahorn, rechts) und für Varianten des durchschnittlichen Radialzuwachses von 3 mm und 4 mm, Bestandesbäume.

Die gleichen Gesetzmäßigkeiten konnten auch für den Bergahorn beobachtet werden. Auf Standorten der Höhenbonität 30 m und bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm kann bei einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm eine durchschnittliche Kronenansatzhöhe von 15,0 m erwartet werden. Bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm liegt die Kronenansatzhöhe unter sonst gleichem Wachstum bei 12,1 m und damit 2,9 m tiefer. Zugleich wird im grafischen Vergleich der Kronenansatzhöhen in Abhängigkeit von der Höhenbonität der Einfluss des Standorts sichtbar. Für beide Baumarten sinkt mit abnehmender Höhenbonität auch die Kronenansatzhöhe. Bei gleichem Dickenwachstum ist somit auf weniger guten Standorten eine niedrigere Kronenansatzhöhe zu erwarten.

Für die **Solitäre** beider Baumarten ergab sich mit dem Gesamtmodell eine nur unbefriedigende Anpassung. Die Höhe des Kronenansatzes wurde bei 6 Solitären beträchtlich unterschätzt, sodass negative Kronenansatzhöhen vorhergesagt wurden. Eine Betrachtung der Kronenansatzentwicklung des Solitärkollektives erfolgt daher getrennt in Kapitel 4.2.3.

In der Gesamtbetrachtung scheint das gewählte lineare, multiple Regressionsmodell passend zur Vorhersage des Kronenansatzes.

Zusammenfassend lässt sich mit dem Modell eine allgemeine Tendenz der Verlagerung der Kronenansatzhöhe für verschiedene Varianten durchschnittlichen Radialzuwachses darstellen. Bei gleichem Höhenwachstum nimmt mit zunehmendem durchschnittlichem Radialzuwachs die Kronenansatzhöhe ab. Bei gleichem durchschnittlichem Radialzuwachs steigt die Höhe des Kronenansatzes mit zunehmender Höhenbonität und zunehmendem Baumalter.

4.2.2 Kronenansatzhöhe in verschiedenen Sektoren am Schaft

Die Kronenansatzhöhe wurde an jedem Baum in vier Sektoren von je 90° am Schaft bestimmt. Damit konnte eine Kronenansatzhöhe pro Baum und getrennt für jeden Sektor angegeben werden. Die Wahl der Sektoren erfolgte nach dem in Kapitel 2.4.3 beschriebenen Verfahren. Auf diese Weise konnte **die Differenz zwischen der maximalen und minimalen Kronenansatzhöhe zwischen den einzelnen Sektoren** berechnet werden. Diese Differenz wurde als **relative Kronenansatzdifferenz** in Relation zur maximalen Kronenansatzhöhe gesetzt. Da das Auftreten bereits eines Astes zu einer Abwertung von Rundholz in eine schlechtere Güteklasse führen kann (EN1316-3)³⁴, ist es wünschenswert, dass sich der Kronenansatz in verschiedenen Sektoren am Schaft auf gleicher Höhe befindet.

Auch die lokale räumliche Stellung des Baumes in Bezug zu seinen Nachbarn kann eine **einseitige Kronenausformung** bewirken und damit die **Astreinigung** modifizieren. Aus diesem Grunde wurde zusätzlich untersucht, ob ein **Zusammenhang zwischen der Differenz zwischen der maximalen und minimalen Kronenansatzhöhe zwischen den einzelnen Sektoren und der Kronenform** zu erkennen ist. Da die Kronenablotung mit 8

³⁴ Beispielsweise führt nach EN1316-3 das Vorhandensein eines einzigen lebenden Astes bei Esche zu Abstufung von Güteklasse Fr-A nach Fr-B.

Fluchtstäben an Extrempunkten der Krone durchgeführt worden war, konnte die Entfernung der Extrempunkte zum Stammmittelpunkt als einfacher Indikator für die Regelmäßigkeit der Kronenausformung verwendet werden. Als Kenngröße wurde die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Kronenradius relativ zum maximalen Kronenradius berechnet. Mit zunehmender relativer Kronenradiusdifferenz nimmt die Kronenform eine zunehmend unregelmäßige Ausbildung an, geringe Differenzen weisen auf eine annähernd "runde" Form der Kronenprojektionsfläche hin.

Für diese Untersuchung standen 614 Eschen und 399 Bergahorne zur Verfügung. Es wurden nur Bäume aus Untersuchungsflächen mit einer Hangneigung von weniger als 10 Grad in die folgende Auswertung integriert. Die absoluten Kronenansatzdifferenzen schwanken bei der Esche zwischen 0 und 18,6 m und erstrecken sich bei Bergahorn von 0 bis 11,7 m. Die relativen Werte variieren von 0 bis 78,7 % für Esche und von 0 bis 87,0 % für Bergahorn. Die relative Kronenansatzdifferenzen wurden grafisch und regressionsanalytisch auf Zusammenhänge zum durchschnittlichen Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe untersucht. Anlass dazu war die Frage, ob Bäume mit hohem durchschnittlichen Radialzuwachs, bedingt durch die anhaltende Freistellung, auch einen Kronenansatz aufweisen, der in den verschiedenen Kronensektoren in ähnlicher Höhe entspringt. Diese Annahme konnte nicht bestätigt werden (Abbildung 4-8:). Die Streuung der relativen Kronenansatzdifferenzen ist dabei für beide Baumarten sehr groß. Die relative Kronenansatzdifferenz von Eschensolitären streute mit Werten zwischen 0 und 75,0 % (Bergahornsolitäre: 6,7 bis 75,6 %) in einer vergleichbaren Größenordnung wie bei Bestandesbäumen.

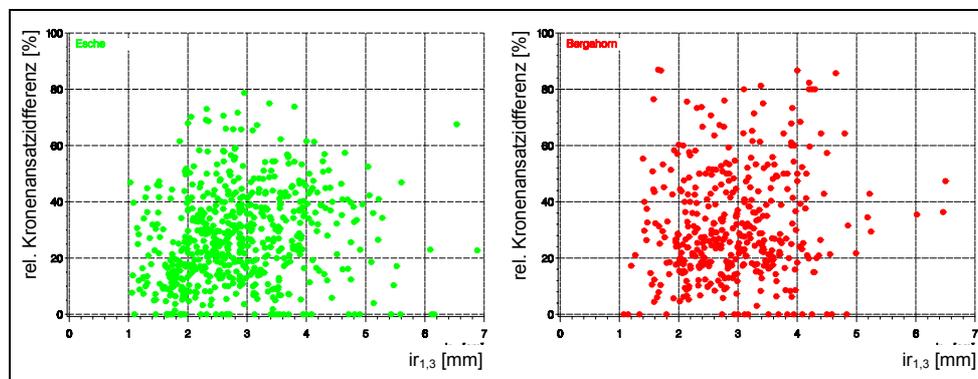


Abbildung 4-8: Relative Kronenansatzdifferenz (maximale – minimale Kronenansatzhöhe/ maximale Kronenansatzhöhe) über dem durchschnittlichen Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe (links Esche: N = 614, rechts Bergahorn: N = 399, jeweils Bestandesbäume und Solitäre).

Die Spreitung der absoluten Kronenradiusdifferenzen reichte von bis 0,17 m bis 11,72 m für Esche und für Bergahorn von 0,24 bis 7,77 m. Die Extrema der relativen Kronenradiusdifferenzen lagen bei 9 % als Minimum und 96,2 % als Maximum für Esche (Bergahorn: 15,8 bis 122,1 %). Die Darstellung der relativen Kronenansatzdifferenzen über den

relativen Kronenradiusdifferenzen zeigt eine große Streuung der Einzelwerte (Abbildung 4-9:).

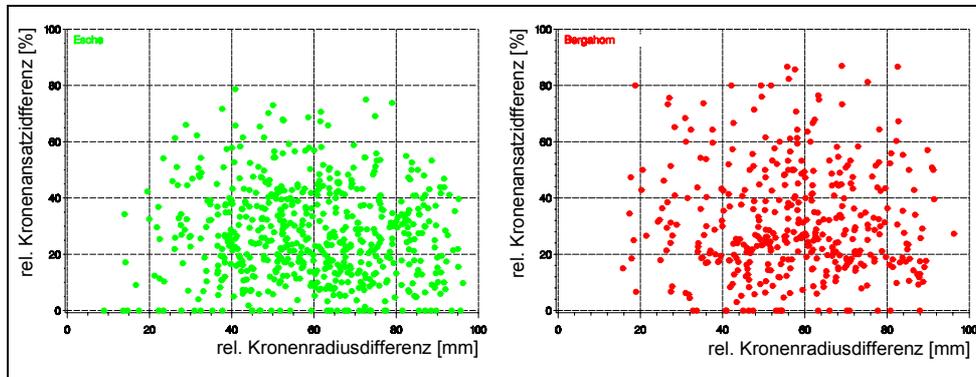


Abbildung 4-9: Relative Kronenansatzdifferenz (maximale - minimaler Kronenansatzhöhe/ maximale Kronenansatzhöhe) über der relativen Kronenradiusdifferenz (maximaler - minimaler Kronenradius/ maximaler Kronenradius) (links Esche: N = 614, rechts Bergahorn: N = 399, jeweils Bestandesbäume und Solitäre).

Die **regressionsanalytische Untersuchung der relativen Kronenansatzdifferenzen in Abhängigkeit von der relativen Kronenradiusdifferenz konnte weder für Esche noch für Bergahorn einen signifikanten ($\alpha = 0,05$) Zusammenhang bestätigen**. Damit wird deutlich, dass Bäume mit einer annähernd "rund" ausgeformten Krone nicht zwingend auch die geringsten relativen Kronenansatzdifferenzen aufweisen. Die relative Kronenradiusdifferenz von Eschensolitären streute mit Werten zwischen 8,9 und 72,6 % (Bergahorn-solitäre: 15,8 bis 45,4 %) in geringerem Ausmaß als das Kollektiv der Bestandesbäume. Auch für Solitäre ließ sich nicht erkennen, dass Eschen oder Bergahorne mit „rund“ ausgeformter Krone tendenziell geringere relative Kronenansatzdifferenzen aufweisen. Somit zeigen unabhängig von der Kronenausformung die Kronenansatzhöhen in den vier Sektoren am Schaft eine sehr große Streuung auf.

4.2.3 Kronenansatzhöhe bei Solitären

An 42 Eschen- und 32 Bergahornsolitären wurde die Kronenansatzhöhe untersucht. Die Messwerte decken für Esche eine Spannweite des Kronenansatzes von 0,4 bis 4,9 m und für Bergahorn von 0,2 bis 3,1 m ab (Tabelle 4-4:). Der Ausgleich der Einzelwerte gelingt mit einem einfachen **linearen Regressionsmodell**, das die Höhen des Kronenansatzes mit dem Brusthöhendurchmesser schätzt (Tabelle 4-5:).

Mit zunehmendem Brusthöhendurchmesser steigt der Kronenansatz leicht, jedoch mit signifikanter Steigung an (Abbildung 4-10:). Bei einem Brusthöhendurchmesser von 10 cm schätzt das Modell die Kronenansatzhöhe der Esche auf 1,3 m (Bergahorn: 0,7 m), für einen Brusthöhendurchmesser von 60 cm werden 2,6 m (Bergahorn: 1,9 m) geschätzt. In welchem Ausmaße das Ansteigen der Kronenansatzhöhe auf **baumeigene Astreinigung durch Selbstbeschattung** zurückzuführen oder durch zum Zeitpunkt der Messung nicht

mehr nachvollziehbare andere Einflussfaktoren bedingt ist, kann auf der Grundlage der vorliegenden Informationen nicht entschieden werden. Auffälligerweise war jedoch an lediglich vier der Eschensolitäre ein Totaststummel unterhalb des Kronenansatzes zu erkennen. Die Totastzone war in diesen Fällen eindeutig auf die Schattenwirkung einer umgebenden Hecke oder Gebüsch oder auf Anwuchsschwierigkeiten im Jugendstadium zurückzuführen. Nur einer der Bergahornsolitäre hatte eine Totastzone. Mit dem Modell zur Abschätzung der Kronenansatzhöhe von Solitären kann somit **eine Untergrenze des Kronenansatzes bei konkurrenzfreiem Wachstum** von Esche und Bergahorn beschrieben werden.

Tabelle 4-4: Gültigkeitsbereiche für die einzelnen Variablen des Kronenansatzmodells für Eschen- und Bergahornsolitäre, (Esche: N = 42, Bergahorn: N = 32).

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn					
Höhe des Kronenansatzes: h_{Kr} [m]	0,4	0,2	4,9	3,1	2,1	1,5	0,89	0,82
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	3,5	2,0	102,5	132,0	40,9	43,4	22,75	29,04

Tabelle 4-5: Parameterschätzer des Kronenansatzmodells für Eschen- und Bergahornsolitäre, * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$; ** = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,005$ (F bzw. T-Test); Esche: N = 42; Bergahorn: N = 32.

Variable	Parameter-schätzer		Standardfehler des Schätzers		Bestimmtheitsmaß r^2	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	1,012*	0,512**	0,216	0,155	-	-
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	0,026*	0,023*	0,005	0,003	adj.: 0,42	adj.: 0,65

Die Gültigkeitsgrenzen des Modells ergeben sich aus den in Tabelle 4-4: dargestellten Spannweiten der einzelnen Variablen des Kronenansatzmodells für Eschen- und Bergahornsolitäre.

Hinsichtlich der **relativen Kronenlänge** ließ sich kein gerichteter Trend erkennen. Unabhängig vom Brusthöhendurchmesser streuten die relativen Kronenlängen der Eschensolitäre um den arithmetischen Mittelwert von 0,84 und für Bergahorn um 0,87.

Die **baumartspezifischen Unterschiede** in der Kronenansatzhöhe zwischen dem Eschen- und Bergahornkollektiv können nicht eindeutig auf baumartspezifische Ursachen zurückgeführt werden. Obwohl die Auswahlkriterien für die Auswahl eines Baumes als Solitär streng gesetzt waren (vgl. Kapitel 2.2), waren Schwankungen durch menschliche oder tierische Einflüsse – insbesondere bei Solitären in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten – nicht vollständig auszuschließen. Die geringe Veränderung der Kronen-

ansatzhöhe für beide Baumarten kann somit nicht dahingehend interpretiert werden, dass selbst bei Solitären ein Anhalten der Kronenbasis bei konkurrenzfreiem Wachstum nicht möglich ist.

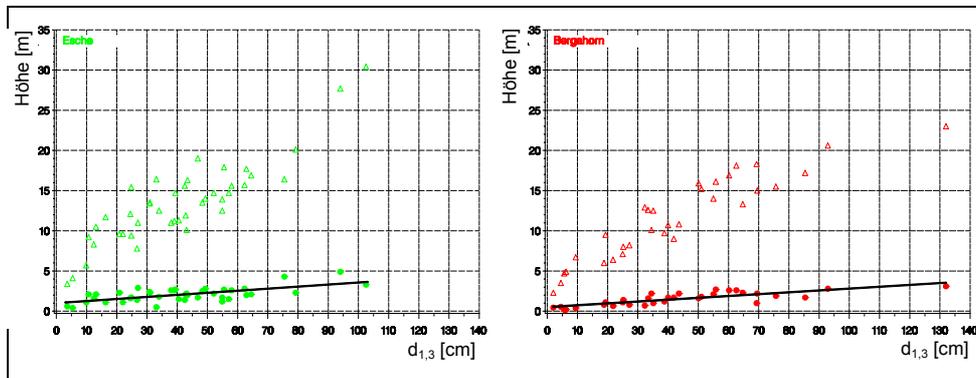


Abbildung 4-10: Darstellung der Baumhöhe sowie der Kronenansatzhöhe von Solitären (Esche links, Bergahorn: rechts) über dem Brusthöhendurchmesser. Die jeweiligen Ausgleichsgeraden kennzeichnen die vom Modell vorhergesagten Werte. **Signaturen:** **Dreieck:** Baumhöhe, **ausgefüllter Kreis:** Kronenansatzhöhe.

4.3 ENTWICKLUNG DER ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE UND DER INNEREN ÄSTIGKEIT

4.3.1 Modellierung der astfreien Schaftlänge

Wie für die Entwicklung der Höhe des Kronenansatzes konnten auch für die Entwicklung der astfreien Schaftlänge bestimmte Wachstumsgesetzmäßigkeiten gefunden werden. An insgesamt 524 von 919 Eschen (57 %) und 417 von 632 Bergahornen (66 %) wurde die astfreie Schaftlänge durch einen grünen Primärast begrenzt, in den übrigen Fällen waren es Totäste. **Die Entwicklung der astfreien Schaftlänge für Esche und Bergahorn konnte mit einem linearen, multiplen Regressionsmodell beschrieben werden.** Dabei konnten die Variablen Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser und Baumalter sowie die Interaktion des Vorhandenseins von Zwieseln mit der Baumhöhe (Esche) bzw. das Auftreten von Zwieseln als eigene Variable (Bergahorn) die Streuung der astfreien Schaftlänge zu einem hohen Anteil erklären (Tabelle 4-6:).

Tabelle 4-6: Ergebnisse der schrittweisen Regression und der Varianzanalyse für Esche und Bergahorn für die einzelnen Variablen des Modells zur astfreien Schaftlänge, * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test); Esche: $N = 919$, $r^2_{adj.} = 0,76$; Bergahorn: $N = 632$, $r^2_{adj.} = 0,68$, Gleichung (4), Bestandesbäume.

Variable	Parameter-schätzer		Standardfehler des Schätzers		Partielles r^2		Variance Inflation Factor	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	-3,763*	-1,443*	0,291	0,306	-	-	-	-
Höhe des Baumes: h_B [m]	0,771*	0,634*	0,018	0,021	0,60*	0,54*	3,2	2,7
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	-0,172*	-0,150*	0,009	0,010	0,09*	0,12*	4,4	3,5
Höhe des Baumes *Zwiesel: $h_B * 0/1$	-0,119*	-	0,009	-	0,06*	-	3,6	-
Zwiesel (dimensionlos, zwei diskrete Werte: 0/1)	-	-1,826*	-	0,340	-	0,01*	-	1,0
Alter des Baumes: a_B [J]	0,024*	0,019*	0,004	0,005	0,01*	0,01*	1,1	3,6

Das Modell zur Vorhersage der astfreien Schaftlänge weist in den ermittelten unabhängigen Variablen Parallelen zum Kronenansatzmodell auf. Mit der **schrittweisen Regression** konnten im Gesamtmodell 76 % (Esche) bzw. 68 % (Bergahorn) der Streuung der Messwerte erklärt werden.

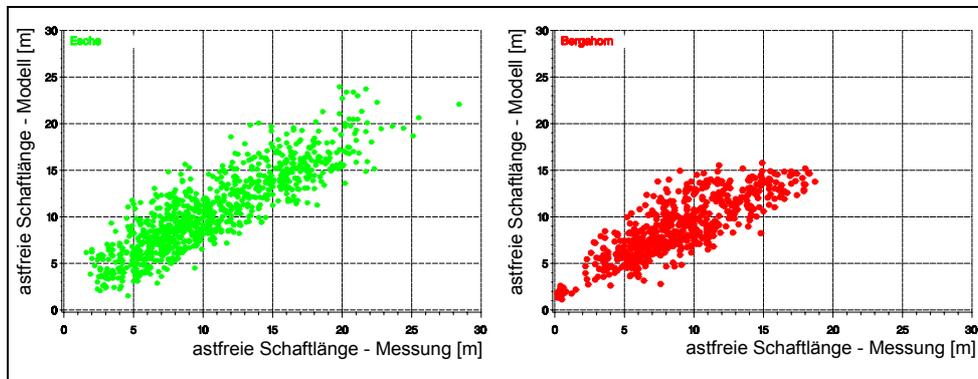


Abbildung 4-11: Gegenüberstellung der gemessenen Werte des astfreien Schaftlänge mit den Werten des Modells, links: Esche, rechts: Bergahorn, Bestandesbäume.

Die Gegenüberstellung von gemessenen astfreien Schaftlängen und den Modellwerte zeigt grundsätzlich eine gute Übereinstimmung (Abbildung 4-11:). Im Falle des Bergahorns jedoch findet sich eine Tendenz zur Überschätzung, ab einer gemessenen astfreien Schaftlänge von 15 m Unterschätzungen von bis zu 2 m. Damit liefert die Modellformulierung für Bergahorn keine vollständig tendenzfreien Schätzungen. Da jedoch der grafische Test auf Linearität des Zusammenhangs negativ verlief und die Residuen insgesamt eine gleich-

mäßige Streuung aufwiesen, wurde die gewählte Modellformulierung beibehalten. Eine Schätzung der astfreien Schaftlänge über 15 m sollte deshalb nicht erfolgen.

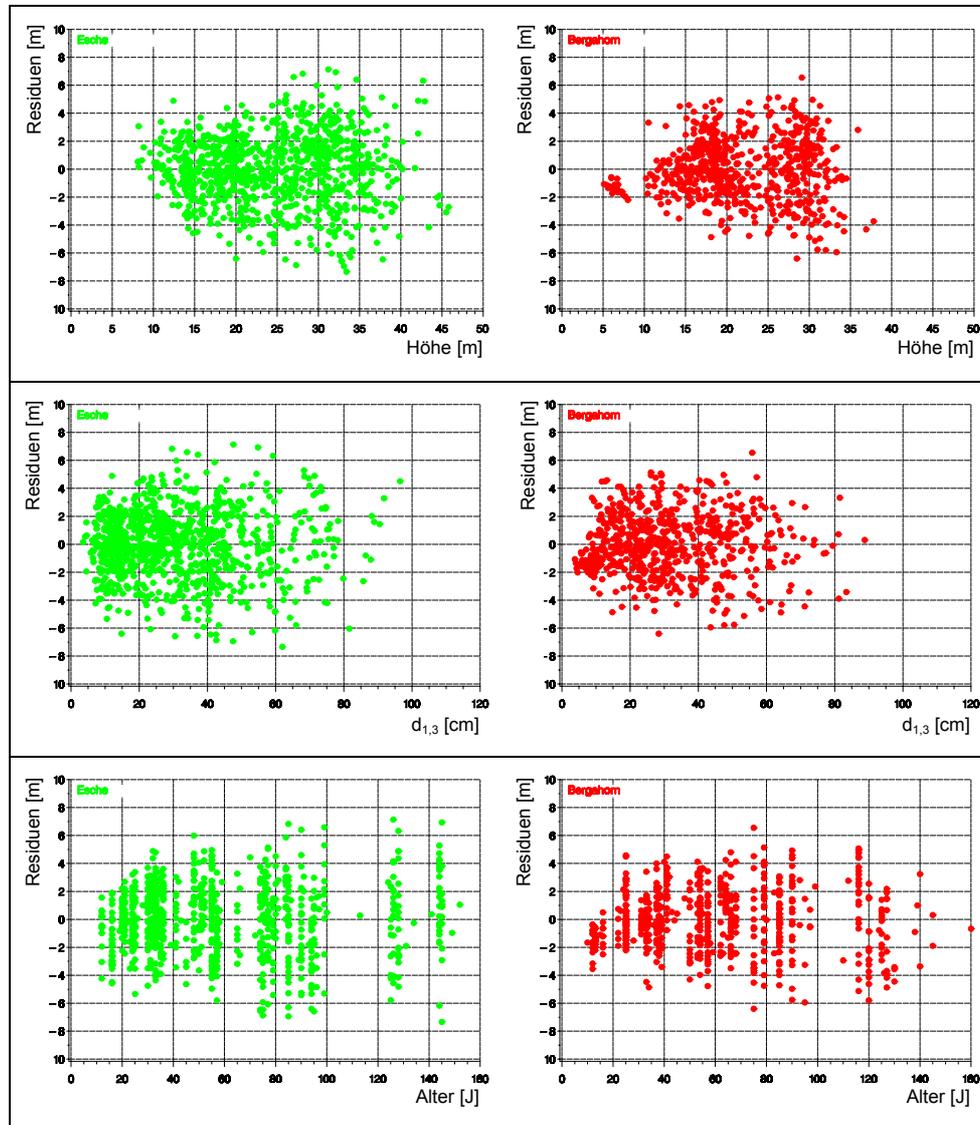


Abbildung 4-12: Residuen aus dem Modell zur astfreien Schaftlänge über den drei unabhängigen Variablen Baumhöhe (oben), Brusthöhendurchmesser (Mitte) und Baumalter (unten), links: Esche, rechts: Bergahorn, Bestandesbäume.

Die unabhängigen Variablen konnten auch hier mit hoher Sicherheit ($\alpha = 0,0001$) in das Gesamtmodell aufgenommen werden. Die Baumhöhe erklärt den größten Anteil an der Streuung. Der Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe und die Interaktion von Baumhöhe und dem Auftreten eines Zwiesels (Esche) bzw. das bloße Vorhandensein eines Zwiesels

(Bergahorn) konnte das Modell verbessern. Das Baumalter trägt nur noch zu 1 % zur Verringerung der Streuung bei.

Auch für dieses Modell konnte ein signifikanter Einfluss von **Zwieseln** auf die Höhe des Kronenansatzes festgestellt werden. Es wurde deutlich, dass ein Modell ohne Berücksichtigung einer eventuellen Zwieseleigenschaft des untersten grünen Primärastes die astfreie Schaftlänge begrenzenden Primärastes fehlschätzt. Es muß für dieses Modell betont werden, dass das vorliegende Modell nur für das zugrundeliegende Datenmaterial die astfreie Schaftlänge vorhersagen kann, wenn es sich um einen Zwiesel handelt. Auch beim Modell zur astfreien Schaftlänge konnte keine Hinweis auf **Kollinearität** festgestellt werden ($VIF < 5$).

Die **Residuen** streuen annähernd gleichmäßig über den unabhängigen Variablen (Abbildung 4-12:). Da für ein Baumalter über 160 Jahren für die Baumart Esche nur 6 weitere Beobachtungen vorlagen, wurde auch hier aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine grafische Darstellung verzichtet. Der überwiegende Teil der Werte liegt innerhalb einer Spreitung von -5 und $+5$ m beidseits der Nulllinie. Eine Heteroskedastizität der Residuen und eine Abweichung von der Normalverteilung konnten nicht bestätigt werden.

Da es sich bei dem Zusammenhang zwischen astfreier Schaftlänge, Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser und Alter um eine unechte Zeitreihe handelt, wurde zur Überprüfung der Autokorrelation die Teststatistik DW berechnet. Sie nimmt einen Wert von 1,54 für Esche sowie 1,50 für Bergahorn an und unterschreitet damit im vereinfachten, zweiseitigen Test den aus den Tabellenwerken geforderten oberen Schwellenwert bei einer beidseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$. Da jedoch eine gewichtete Regression mit transformierten Variablen nur geringe Unterschiede in den vorhergesagten Werten gab und zusätzlich die sonstigen Prüfstatistiken eine gute Eignung der originalen Modellformulierung anzeigten, wurde das ursprüngliche Modell beibehalten.

Zusätzlich wurde auch das Verhalten der Residuen einzelner Teilkollektive des Datenmaterials grafisch und statistisch auf Besonderheiten überprüft. Weder für die Begründungsart (Pflanzung, Naturverjüngung, unbekannt), noch für die Betriebsarten (Hochwald, Mittelwald, außer Solitäre) und auch nicht für die Herkunft des Baumes aus einer Reinbestands- oder Mischbestandsaufnahme fläche ließ sich ein signifikanter Einfluss auf die Höhe des Kronenansatzes oder signifikante Interaktionen mit anderen unabhängigen Variablen feststellen. Auch aus der Streuung der Residuen der Teilkollektive ließ sich keine gerichtete Fehlschätzung erkennen.

Da mit größeren Schaftdurchmessern in 1,3 m Höhe und für hohe Radialzuwächse nur wenige Beobachtungen vorhanden waren, wurden die **Gültigkeitsgrenzen des Modells** für den Brusthöhendurchmesser nach Stufen durchschnittlicher Radialzuwächse festgelegt. Das Höhenwachstum muss dem in Kapitel 4.1.1 dargestellten Wachstumsgang annähernd folgen. Für Radialzuwächse über 4,5 mm endet für beide Baumarten die Gültigkeit des Modells bei einem Schaftdurchmesser von 60 cm (ansonsten: 80 cm). Damit sollen Fehlschätzungen durch Extrapolationen über das Datenmaterial hinaus vermieden werden. Für die Höhenbonitäten 21 m (Esche) sowie für die Höhenbonitäten 21 und 18 m (Bergahorn) der hier vorgelegten Höhenwachstumsmodelle lagen keine Bäume mit durchschnittlichen Radialzuwächsen über 4,5 mm vor; ebenso auch für Bergahorne der Höhenbonität 18 m bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs über 3,5 mm.

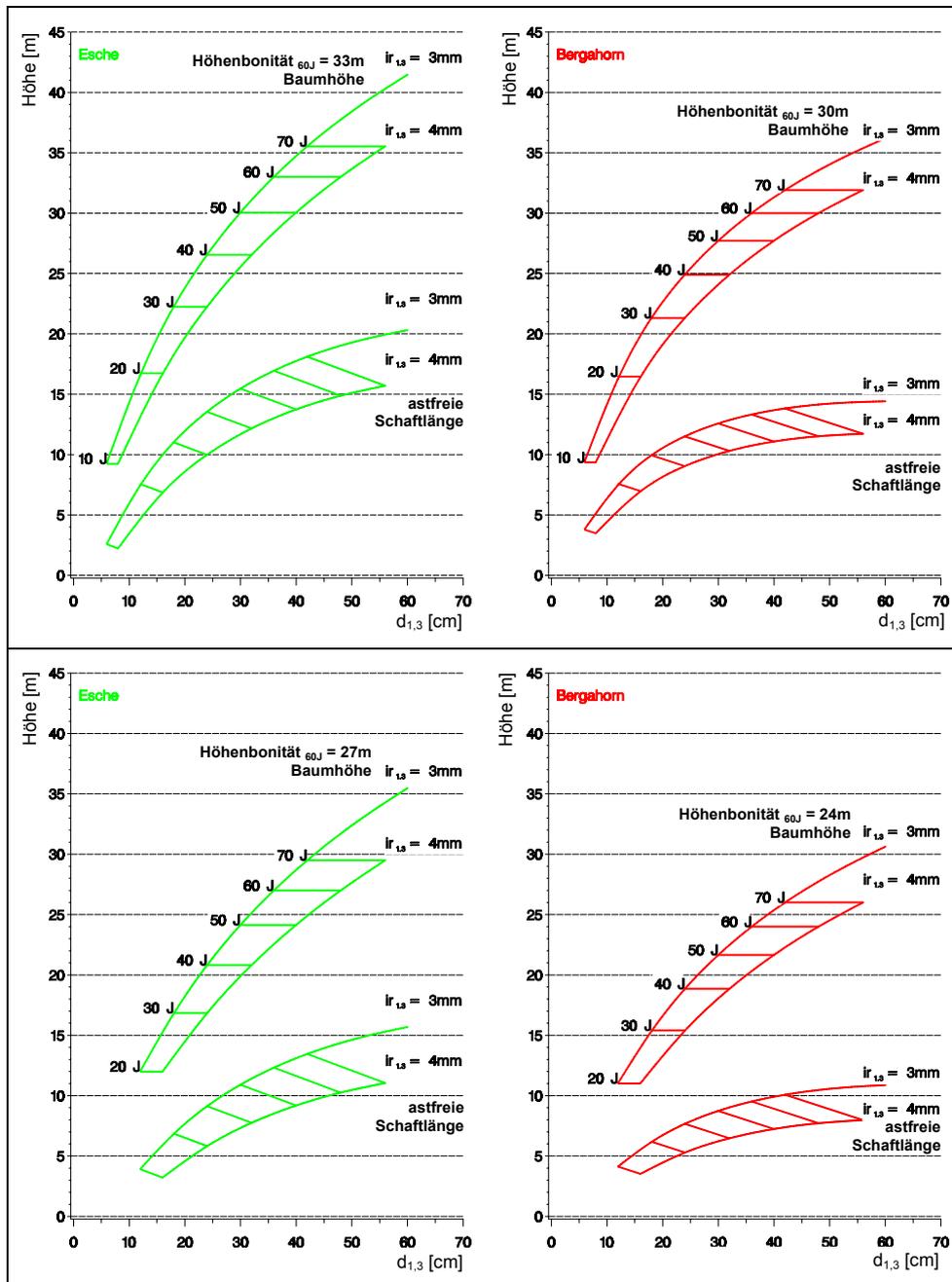


Abbildung 4-13: Baumhöhe und astfreie Schaftlänge über dem Brusthöhendurchmesser für die Höhenbonität 33 m und 27 m (Esche, links) und die Höhenbonität 30 m und 24 m (Bergahorn, rechts) und für Varianten des durchschnittlichen Radialzuwachses von 3 mm und 4 mm, Bestandesbäume.

Mit dem vorliegenden Modell kann der **Verlauf der astfreien Schaftlänge in Abhängigkeit vom Höhenwachstum und Dickenwachstum** dargestellt werden (Abbildung 4-13:). Eschen der Höhenbonität 33 m und mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm lassen bei einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm eine durchschnittliche astfreie Schaftlänge von 20,3 m erwarten. Bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm liegt die astfreie Schaftlänge unter sonst gleichem Wachstum bei 16,0 m und damit 4,3 m tiefer. Es ist dabei auch die um 25 Jahre kürzere Produktionszeit zu beachten.

Die **gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten auch für den Bergahorn**. Auf Standorten der Höhenbonität 30 m und bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm kann bei einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm eine durchschnittliche astfreie Schaftlänge von 14,4 m erwartet werden. Bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm liegt die Kronenansatzhöhe unter sonst gleichem Wachstum nach den Erwartungen des Modells bei 11,8 m und damit 2,6 m tiefer. Zugleich wird im grafischen Vergleich der astfreien Schaftlängen in Abhängigkeit von der Höhenbonität der Einfluss des Standorts sichtbar. Für beide Baumarten sinkt mit abnehmender Höhenbonität auch die astfreie Schaftlänge. Bei gleichem Dickenwachstum ist somit auf weniger guten Standorten eine kürzere astfreie Schaftlänge zu erwarten. Beim Vergleich von Kronenansatzhöhe und astfreier Schaftlänge je Baumart, Höhenbonität und Radialzuwachsvariante zeigen sich Unterschiede von 0,7 bis 1,3 m für Esche und 0,6 bis 1,1 m für Bergahorn. Die Unterschiede sind dabei in jungem Entwicklungsstadium geringfügig größer als in höherem Baumalter.

Wie beim Kronenansatzmodell ergab sich auch hier für **Eschen- und Bergahornsolitäre** beider Baumarten mit dem Gesamtmodell keine befriedigende Anpassung. Eine Betrachtung der Astreinigung des Solitärkollektives erfolgt daher getrennt in Kapitel 4.3.4.

In der Gesamtbetrachtung scheint das gewählte lineare, multiple Regressionsmodell passend zur Vorhersage der astfreien Schaftlänge.

Zusammenfassend lässt sich mit dem Modell eine allgemeine Tendenz der Veränderung der astfreien Schaftlänge für verschiedene Varianten durchschnittlichen Radialzuwachses darstellen. Bei gleichem Höhenwachstum nimmt mit zunehmendem durchschnittlichem Radialzuwachs die astfreie Schaftlänge ab. Bei gleichem durchschnittlichem Radialzuwachs steigt die Länge des astfreien Schaftes mit zunehmender Höhenbonität und zunehmendem Baumalter an.

4.3.2 Auftreten von Totästen

Da Totäste schon mit geringerem Durchmesser als lebende Äste zu einer Abwertung des Rundholzes in eine schlechtere Qualitätsklasse führen können, ist es erstrebenswert, zur Erzeugung von Wertholz die Totastzone am Schaft kurz zu halten. Deshalb wurde das **Auftreten von Totästen** einer genaueren Analyse unterzogen. An 524 von insgesamt 919 Eschen (57,0 %) und 417 von insg. 632 Bergahornen (66,0 %) wurden keine Totäste unterhalb des untersten lebenden Primärastes beobachtet. Es wurden an Eschen maximale relative Differenzen zwischen der Höhe des Kronenansatzes und des Totastansatzes von 71,6 % beobachtet (Bergahorn: 77,8 %). Im Mittel aller Eschen, die einen Totast aufwiesen, lag die Höhe des Totastansatzes 24,1 % unterhalb des ersten grünen Primärastes (Berg-

ahorn: 22,0 %). Die Streuung der Einzelwerte ist dabei beträchtlich. Es konnte am vorliegenden Datenmaterial auch kein gerichteter Trend in der Streuung dieser Größe über dem durchschnittlichen Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe gefunden werden (Abbildung 4-14:).

Auch aus dem **Vergleich der Ergebnisse des Kronenansatzmodells mit den Ergebnissen des Modells zur astfreien Schaftlänge** wird deutlich, dass mit beiden Modellen eine simultane Modellierung beider Zielgrößen am Einzelbaum möglich ist. Es ergeben sich dabei keine Überschneidungen innerhalb der Modellgrenzen. Die absolute Länge der Totastzone beträgt nach dem Modell im Verlauf der Durchmesserentwicklung bei gleicher Höhenbonität und gleichem durchschnittlichen Radialzuwachs zwischen 1,6 und 0,9 m bei Esche beziehungsweise 0,6 und 0,1 m bei Bergahorn.

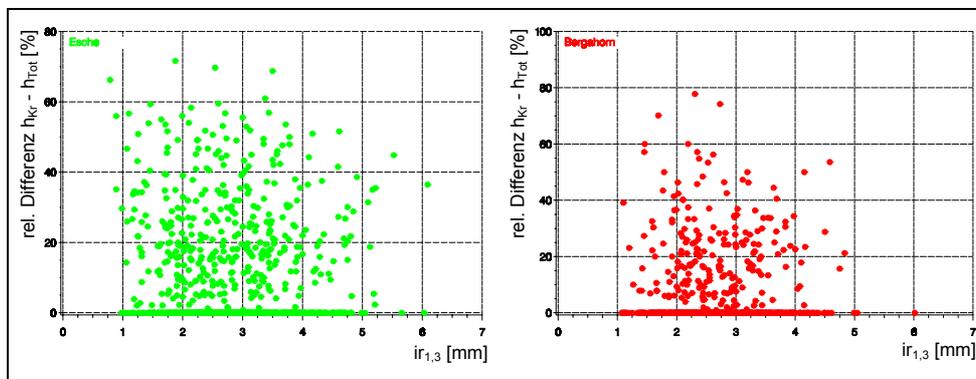


Abbildung 4-14: Differenz zwischen Kronenansatzhöhe und Totastansatzhöhe relativ zur Kronenansatzhöhe über dem durchschnittlichen Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe (Esche: links, Bergahorn: rechts), Bestandesbäume.

Im Unterschied zu den hier untersuchten Bestandesbäumen wiesen deutlich weniger Solitäreschen und -bergahorne einen Totast unterhalb des ersten grünen Primärastes auf. Eine ausführliche Darstellung dazu erfolgt in Kapitel 4.3.4 .

4.3.3 Modellierung der inneren Ästigkeit

Das Höhenwachstum wirkt sich erheblich auf die Astreinigung aus. In den oben genannten Modellen können die **unabhängigen Variablen Höhe und Alter des Baumes als Repräsentanten des Standorts** angesehen werden. Mit zunehmender Verbesserung der Höhenbonität kann bei einem festen durchschnittlichen Durchmesserwachstum auch eine höhere astfreie Schaftlänge erreicht werden. Umgedreht bedeutet dies, dass auf einer besseren Höhenbonität die gleiche angestrebte astfreie Schaftlänge auch über einen höheren durchschnittlichen Dickenzuwachs erreicht werden kann.

Die Berechnung des asthaltigen Kerns im Stamminneren erfolgte anhand von **Annahmen zur Abholzigkeit** nach dem in Kapitel 2.1.2 dargestellten Verfahren. Die Unterschiede im asthaltigen Kern für unterschiedliche Höhenbonitäten sind (bei gleicher Geschwindigkeit des Durchmesserwachstums) beträchtlich (Abbildung 4-15:).

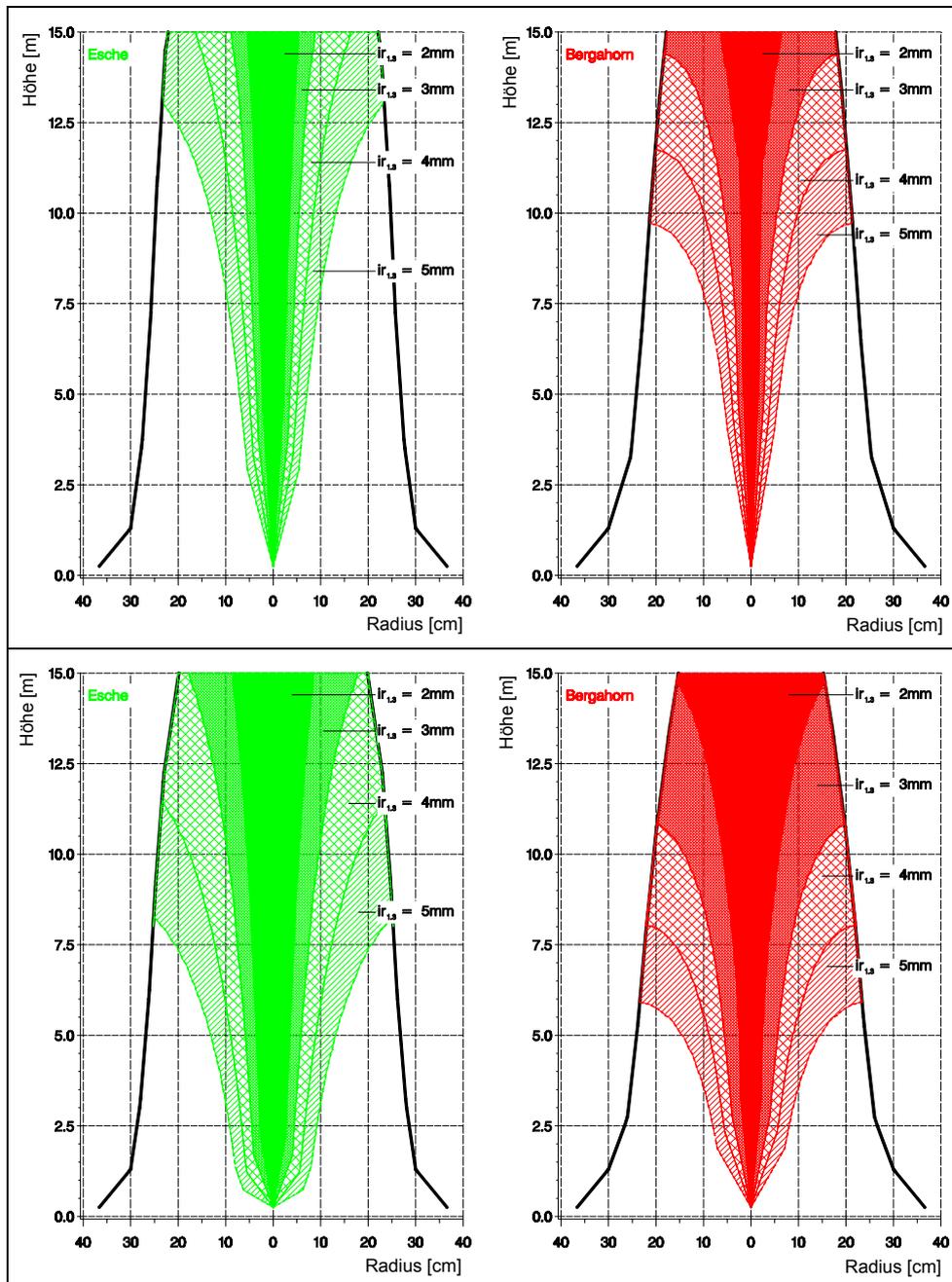


Abbildung 4-15: Innere Ästigkeit für Esche für die Höhenbonitäten 33 m und 27 m (links) und für Bergahorn für die Höhenbonitäten 30 m und 24 m (rechts), Darstellung als Längsschnitt durch den Schaft; äußere Schaftform des Baumes: $d_{1,3} = 60$ cm, durchschnittlichen Radialzuwachs = 4 mm und der entsprechenden Baumhöhe dieses Zieldurchmessers, Bestandesbäume.

Während bei einer Höhenbonität (Esche) von 33 m und einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm der Radius des modellhaften asthaltigen Kerns in 15 m Schafthöhe 9,6 cm beträgt, ist dieser Radius für die Höhenbonität 27 m in der gleichen Höhe mit 17 cm 77,1 % breiter. Abbildung 4-15: zeigt beispielhaft für die Höhenbonitäten 33 m und 27 m (Esche) sowie für die Höhenbonitäten 30 m und 24 m (Bergahorn) die durch das Modell vorhergesagte innere Ästigkeit.

Der Standraum, der einem Baum zur Kronenexpansion und damit zum Astwachstum zur Verfügung steht, findet seinen Niederschlag im Dickenwachstum des Schaftes. Ein vermindertes Dickenwachstum ist neben anderen Einflussfaktoren wie zum Beispiel Klima und Witterung auch Folge veränderter Konkurrenzbedingungen des Einzelbaumes. Mit der in Kapitel 2.5.2 dargestellten Methode kann die Verlagerung des Kronenansatzes und der astfreien Schaftlänge am Einzelbaum retrospektiv nachvollzogen werden. **Für eine einzelne Esche der Untersuchungsfläche Sp01_5 wurde durch Auftrennen der überwallten Äste Veränderung des Kronenansatzes und Totastansatzes untersucht und mit der Vorhersage des Modells verglichen** (Abbildung 4-16:).

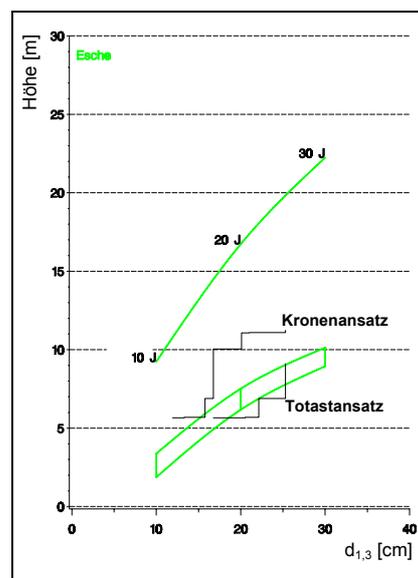


Abbildung 4-16: Darstellung der Verlagerung des Kronenansatzes und Totastansatzes eines Baumes mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs in 1,3 m Höhe am Schaft von 4,0 mm/ J (Esche: Baum Sp01_5-1) gegenüber dem modellhaften Verlauf bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 5 mm/ J.

Gegenüber dem Modell bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 5 mm zeigt die tatsächliche Verlagerung des Kronenansatzes und des Totastansatzes des Einzelbaumes mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4,0 mm deutliche Abweichungen. **Die Änderung des Kronenansatzes verläuft diskret und nicht stetig wie im Modell.** Mit dem Absterben eines einzelnen Astes konnte sich der Kronenansatz um bis zu 4 m nach oben verschieben. Die tatsächliche Länge einer Totastzone am Einzelbaum beträgt in

diesem Fall mehr als das durch das Modell vorhergesagte Ausmaß. Bei anderen Bäumen konnte ein Zusammenfallen beider Höhen beobachtet werden. Das Absterben der untersten Äste des Kronenansatzes kann sich langsam und in Etappen oder schnell vollziehen, entsprechend der Variabilität des laufenden jährlichen Radialzuwachses. Dies kann durch Phasen hohen und Phasen niedrigen Radialzuwachses nachvollzogen werden (Abbildung 4-17). Der Einfluss des jährlichen Radialzuwachses kann aber modifiziert werden, wenn einzelne besonders vitale Äste durch Konkurrenzeinfluss in Bedrängnis geraten und absterben. Damit wird in dieser Gegenüberstellung auch der Unterschied in der Aussagekraft des durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe und des laufenden, jährlichen Radialzuwachses hinsichtlich des Astreinigungsdynamik deutlich.

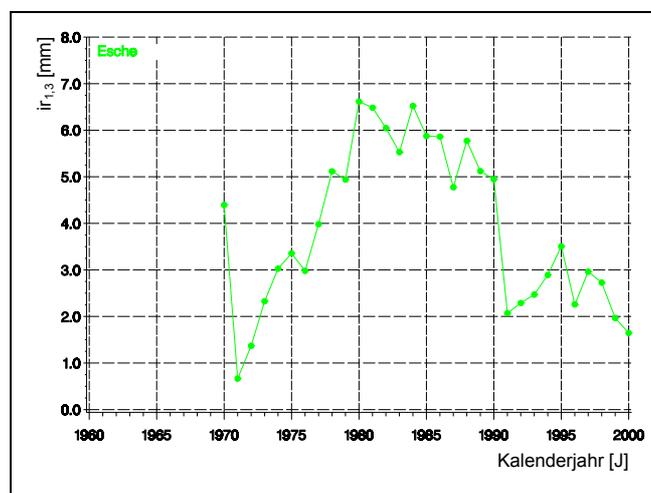


Abbildung 4-17: Darstellung des Radialzuwachses in 1,3 m Höhe am Schaft des in Abbildung 4-23 und 4-26 gezeigten Baumes über dem Durchmesser in Brusthöhe (Esche: Baum Sp01_5-1, durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs = 4,0 mm).

Bäume mit unterschiedlichem Dickenwachstum weisen auch unterschiedliche asthaltige Kerne auf. Bei großer Geschwindigkeit des Dickenwachstums ist mit einem entsprechend größeren asthaltigen Kern zu rechnen. Exemplarisch werden diese Zusammenhänge am Beispiel eines einzelnen Baumes aufgezeigt. Da mit der Analyse der von außen erkennbaren überwallten Äste auch der Radius des asthaltigen Kerns gemessen wurde, war ein **Vergleich der modellhaft berechneten Breite des asthaltigen Kerns mit den gemessenen Werten** möglich. Abbildung 4-18: zeigt eine Esche, deren Höhenwachstum dem der Höhenbonität 33 m annähernd folgt; der durchschnittliche Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe beträgt 4,0 mm. An 6 Quirlen konnten insgesamt 19 überwallte Äste vermessen werden. Die innere Ästigkeit tritt dabei entsprechend der überwiegenden Lage der Äste am Anfang eines jährlichen Höhenzuwachses nur punktuell auf. Die Ansatzpunkte der überwallten Äste eines Quirls von Esche und Bergahorn differieren nur um maximal 0,40 m. Auffallend ist, dass der tatsächliche Radius des asthaltigen Kerns in Teilen deutlich von den modellhaft vorhergesagten Werten abweicht. Im Vergleich des laufenden jährlichen Radialzuwachses dieses Baumes mit dem Durchschnittswert werden über längere Perioden

hinweg Abweichungen deutlich. Phasen hohen Radialzuwachses (z.B. von 0,7 cm bis 6,6 mm Durchmesser in 1,3 m Schafthöhe) können überdurchschnittlich große asthaltige Kerne bewirken.

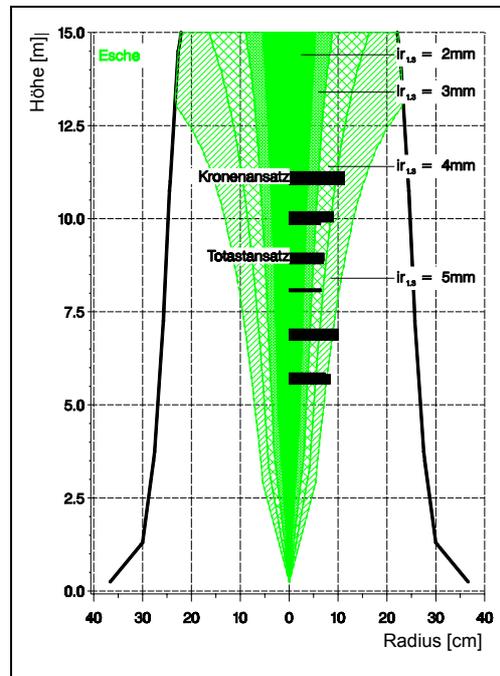


Abbildung 4-18: Darstellung des modellhaften asthaltigen Kerns für Esche für die Radialzuwachsvarianten 2, 3, 4 und 5 mm mit den gemessenen Werten des asthaltigen Kerns einer Esche mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4,0 mm/ J, Darstellung als Längsschnitt durch den Schaft, Messung überwallter Äste von 5,60 m Höhe am Schaft bis zum Kronenansatz, Astdurchmesser vertikal 20-fach überhöht und auf die rechte Seite projiziert; die äußere Schaftform des Baumes mit einem Brusthöhen-durchmesser von 60 cm wurde ausgehend von einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm und der entsprechenden Baumhöhe dieses Zieldurchmessers berechnet.

4.3.4 Entwicklung der astfreien Schaftlänge bei Solitären

Im Gegensatz zu den Bestandesbäumen wiesen nur 9,5 % (absolut: 4) der Eschensolitäre (Bergahorn: 3,1 %, absolut: 1 Solitär) einen **Totast unterhalb des ersten lebenden Primärastes** auf. Wie in Kapitel 4.2.3 zur Entwicklung der Kronenansatzhöhe bei Solitären dargestellt, konnte für diese Fälle das Auftreten des Totastes auf das Vorhandensein von Hecken oder Gebüsch oder Anwuchsschwierigkeiten im Jugendstadium zurückgeführt werden. Die Differenz zwischen Ansatzhöhe des untersten toten und lebenden Primärastes schwankte für die Esche zwischen 0,1 und 0,6 m und lag im Mittel bei 0,3 m (Bergahorn: ein Wert mit 0,7 m). Aufgrund des geringen Unterschiedes wurde kein eigenes Modell für

die astfreie Schaftlänge berechnet. (s. Tabelle 4-4.; Tabelle 4-5: und Abbildung 4-10:). Das Modell repräsentiert damit die untere Grenze der Astreinigung bei konkurrenzfrei aufgewachsenen Eschen und Bergahornen.

4.4 WACHSTUM UND ÜBERWALLUNG DER PRIMÄRÄSTE

4.4.1 Zusammenhang zwischen Astlänge und Astdurchmesser

Grundlage für den Aufbau der Krone und für die oberirdische Konkurrenz ist das Wachstum der Primäräste. Ihre Entwicklung wird dabei geprägt von der Vitalität des Baumes, ist aber auch bedingt durch seine Konkurrenzsituation, sein Entwicklungsstadium sowie abhängig vom Standort und der genetischen Struktur des einzelnen Individuums. Mit dem **Wachstum der Äste ergeben sich dabei auch Auswirkungen auf die Astreinigung des Schaftes**. Aus dem Gesichtspunkt der Wertholzproduktion ist dabei insbesondere die Entwicklung des Astdurchmessers von Bedeutung. Auch die im Zuge der Holzbearbeitung angeschnittene Astfläche und damit der Astansatzwinkel spielt eine Rolle bei der gewünschten Astreinheit des Rundholzes. Auch baumartspezifische Unterschiede im Astwachstum können als Ursache für Eigenheiten der Baumarten hinsichtlich ihrer Astreinigung angesehen werden.

Die Modellierung des Astdurchmessers über die Länge des Astes als unabhängiger Variable erlaubt es, über die Längenentwicklung auch Aussagen zu den erreichbaren Astdurchmessern machen zu können. Damit können mit der Steuerung der Kronenbreite auch quantitative Angaben zur Astlängenentwicklung und den entsprechenden Durchmessern am Astansatz gegeben werden. Für Esche und Bergahorn konnte jeweils ein **signifikanter Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Astlänge** von lebenden Primärästen gefunden werden. Als Datengrundlage dienten 170 Eschen- und 142 Bergahornäste (Tabelle 4-7:) von 29 Eschen und 28 Bergahornen. Wegen deutlich abweichenden Wachstumsverhaltens wurden die Äste von Solitärbäumen jedoch als separate Stichprobe untersucht (s. Kapitel 4.4.5). Der Astdurchmesser wurde als arithmetisches Mittel aus horizontaler und vertikaler Messung berechnet.

Mit der Astlänge als unabhängiger Variablen konnten in einem gemeinsamen Modell für Esche und Bergahorn 85 % der Gesamtstreuung erklärt werden (Tabelle 4-8:). Mit steigender Astlänge ist ein zunehmender Astdurchmesser am Astansatz zu erwarten (Abbildung 4-19:). Bei Astlängen von 2,5 m werden Astdurchmesser mit Rinde von durchschnittlich 2,4 cm erreicht. Bei Astlängen von 6 m muss für beide Baumarten mit Astdurchmessern von 5,2 cm gerechnet werden.

Tabelle 4-7: Gültigkeitsbereiche für die einzelnen Variablen der Modelle zum Zusammenhang Astlänge und Astdurchmesser für Esche und Bergahorn, Esche: N = 170; Bergahorn: N = 142, Bestandesbäume.

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn	
Astdurchmesser: d_{ast} [cm]	0,5	0,6	7,4	7,7	2,4	2,9	1,34	1,41
Astlänge: l_{ast} [m]	0,18	0,39	8,07	8,40	2,7	3,0	1,60	1,61

Tabelle 4-8: Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Schätzung des Astdurchmessers mit Rinde [cm] durch die Astlänge [m] als unabhängige Variable für Esche und Bergahorn in einem gemeinsamen Modell, *= signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$, (F bzw. T-Test), N = 312, Bestandesbäume.

Variable	Parameterschätzer	Standardfehler des Schätzers	Bestimmtheitsmaß: r^2
	Esche und Bergahorn	Esche und Bergahorn	Esche und Bergahorn
Interzept	0,396*	0,061	-
Astlänge: l_{ast} [m]	0,795*	0,019	0,85* adj.: 0,85

Da die Parameterschätzer der Ästlänge für beide Baumarten unterschiedliche Werte aufweisen könnten, wurde dies in einer eigenen Auswertung untersucht. Die Variable **Baumart** als zusätzliche Variable könnte in dreierlei Hinsicht wirken (vgl. Kapitel 2.7.2): es besteht ein Unterschied im Interzept für beide Baumarten, eine unterschiedliche Steigung der Geraden, d.h. es besteht eine Interaktion mit der Variablen Astlänge, oder beide Ereignisse treffen zu. Für das vorliegende Datenmaterial muss ein Einfluss der Baumart auf die Steigung der Geraden und auf den Interzept abgelehnt werden (N = 312, $\alpha = 0,005$). Aus diesem Grund erscheint es angebracht, ein gemeinsames Modell für beide Baumarten anzuwenden.

Das Gesamtmodell und die beiden baumartspezifischen Modelle zum Zusammenhang von Astdurchmesser und Astlänge schätzen einen Großteil der auftretenden Varianz. Zusätzlich wurde jedoch überprüft, ob der **Astansatzwinkel** einen weiteren Anteil der Varianz erklären kann. Für beide Baumarten konnte kein signifikanter Einfluss des Astansatzwinkels auf den Zusammenhang zwischen Astdurchmesser und Astlänge nachgewiesen werden. Die Vorzeichen der Parameterschätzer deuteten zwar darauf hin, dass steiler ansitzende Äste einen größeren Astdurchmesser besitzen, zum gewählten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ muss der Astansatzwinkel als weitere erklärende Variable jedoch abgelehnt werden. Um den Einfluss der steil ansitzenden Äste noch eingehender zu klären, wurden aus den Residuen des baumartspezifischen Modells zum Zusammenhang Astdurchmesser und Astreinigung pro Baumart die 10 % oberen und unteren Werte hinsichtlich ihres Astansatzwinkels überprüft. Für Esche und Bergahorn konnte zum

gleichen Signifikanzniveau keine Unterschied im Astansatzwinkel zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden (Wilcoxon, verteilungsfreier Test von Stichprobenmittelwerten, $\alpha = 0,05$).

Die Voraussetzungen zur Durchführung der linearer Regressionen wurden jeweils entsprechend dem in Kapitel 2.7.2 vorgestellten Verfahren geprüft. Die Voraussetzungen trafen bei den drei vorgestellten Modellen zu.

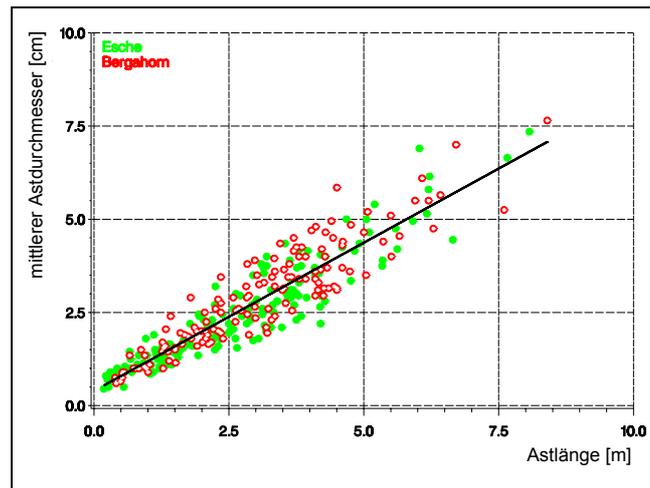


Abbildung 4-19: Entwicklung von Astdurchmesser und Astlänge für Esche und Bergahorn in einem gemeinsamen Modell; **Signaturen** Esche: Punkt, hellgrau; Bergahorn: Ring, dunkelgrau, Bestandesbäume.

Da jeweils eine **horizontale und eine vertikale Messung des Astdurchmessers** am Astansatz erfolgt ist, konnte auch eine belastungsabhängige Asymetrie des Astdurchmessers überprüft werden. Nach Prüfung der Testvoraussetzung wurde ein verteilungsfreier Mittelwertvergleich (Wilcoxon) durchgeführt. Weder für Esche noch für Bergahorn konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($\alpha = 0,05$). Für das vorliegende Datenmaterial musste deshalb auch die Hypothese abgelehnt werden, dass der vertikal gemessene Durchmesser eines Astes aufgrund belastungsabhängigen asymmetrischen Wachstums sich signifikant von dem horizontal gemessenen unterscheidet.

4.4.2 Baumalter und Triblängenwachstum an Ästen und entlang der Schaftachse

Mit den Messungen zur Länge der lebenden Primäräste wurden zusätzlich anhand der Triebbasisnarben die **Astlängenzuwächse** in den zurückliegenden Jahren vermessen. Es wurde jeweils der stärkste lebende Primärast pro Quirl zur Vermessung ausgewählt. Da auf diese Weise die jährlichen Längenzuwächse der einzelnen Äste bekannt waren, konnte das Astalter bestimmt werden und den Astlängenzuwächsen zugeordnet werden. Auch die Darstellung einzelner Phasen des Astwachstums vom vitalen Wachstum an der Spitze der Krone über den konkurrenzbeeinflussten Wachstumsrückgang im Kontaktbereich mit den

Nachbarbäumen bis hin zum Beginn des Absterbens des Astes wurde so möglich. Zugleich wurde auch ein **Vergleich mit den jährlichen Höhenzuwächsen aus der Höhenanalyse** darstellbar.

Aus den drei möglichen Auswertungsrichtungen zu den Längenzuwächsen der Äste (vgl. Kapitel 2.5.1) wurde die Auswertungsrichtung 1a und 1b mit dem Ziel ausgewählt, Zusammenhänge zwischen Astlängenwachstum und Höhenwachstum aufzuzeigen und weitere Grundlagen für die Steuerung der Astreinigung und des Dickenwachstums zu erarbeiten. Dabei stand im Vordergrund einen Nachweis zu führen, dass nicht nur das Höhenwachstum, sondern auch das Astlängenwachstum einem Wachstumstrend folgt, der durch das Alter des Baumes beschrieben werden kann. Es sollte untersucht werden, ob nicht nur für das Höhenwachstum im Verlaufe des Baumlebens eine Kulminationsphase unterstellt werden kann, sondern auch die Astlängenzuwächse einer baualterspezifischen Abhängigkeit unterliegen. Damit wäre ein Hinweis darauf gegeben, dass das Astlängenwachstum und damit auch die Kronenexpansion im Verlauf des Baumlebens quantitativ nachweisbar einer Veränderung folgt. Aus einer solchen baualtersabhängigen Kronenexpansionsfähigkeit könnten in der Folge weitreichende Konsequenzen hinsichtlich der Steuerung des Dickenwachstums aber auch der Astreinigung abgeleitet werden.

Abbildung 4-20: zeigt beispielhaft den Einfluss der Witterung des jeweiligen Standorts sowie der seitlichen Konkurrenz auf den Längenzuwachs von Höhentrieben und Ästen.

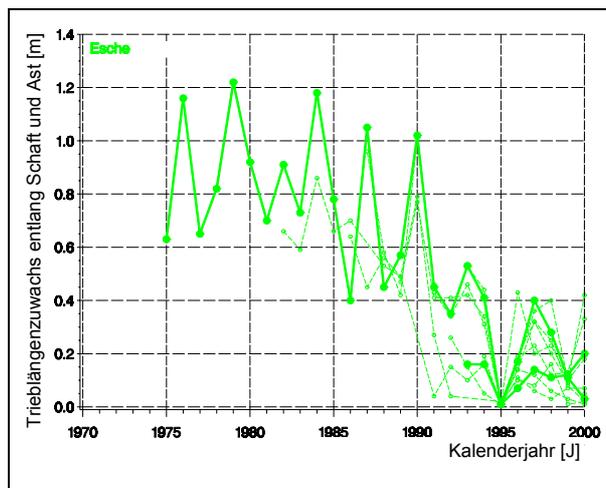


Abbildung 4-20: Jährliche Triblängenzuwächse an Ästen und entlang der Schaftachse über dem Kalenderjahr, beispielhafte Darstellung für den Einfluss der Witterung und der seitlichen Konkurrenz auf den Triblängenzuwachs, Baumart: Esche: Fläche MI_10, Baum Nummer 5. **Signaturen:** durchgezogene Linie fett: Höhenzuwachs, durchbrochene Linien: jährlicher Astlängenzuwachs des jeweils dickstes Astes pro Quirl (insg. 10 Äste).

Über dem Kalenderjahr ist für die jährlichen Höhenzuwächse und Astlängenzuwächse eine weitgehende Gleichläufigkeit zu beobachten. Gegen das Ende der Beobachtungszeit wird ein Absinken des jährlichen Höhenzuwachses deutlich, was eine Auswirkung höheren Baumalters und in kurz- und mittelfristigen Schwankungen auch Witterungseinflüsse als

Ursache haben kann. Je nach Alter des Astes konnten auch die jährlichen Astlängenzuwächse unterschiedlich lange zurückdatiert werden. Da mit zunehmendem Dickenwachstum des Schaftes der schaftnächste Astlängenzuwachs eines Astes in den Schaft einwächst, ist dieser Astlängenzuwachs durch die Dicke des Schaftes am Astansatzpunkt jeweils etwas gekürzt.

Die Betrachtung der jährlichen Astlängenzuwächse über dem Astalter verdeutlicht nochmals die Veränderung der Zuwachsgröße im Laufe des Astwachstums. Es muss dabei jedoch hervorgehoben werden, dass dies sowohl auf Beschattung infolge von seitlicher Konkurrenz durch Nachbarbäume zurückgeführt werden kann als auch - bedingt durch die apikale Dominanz - mit dem Astalter einen asteigenen Trend widerspiegelt. Unter der eingangs genannten Zielsetzung ist die Betrachtung eines **eventuellen baumalters-abhängigen Trends der Astlängenzuwächse** von besonderem Interesse. Bei der Betrachtung der Astlängenzuwächse des Einzelbaumes fällt das unterschiedliche Niveau der Zuwachswerte in jungem Astalter und zwar von den Ästen auf, die in unterschiedlichen Höhen am Schaft anstitzen und damit aus unterschiedlichen Baumaltern stammen (Abbildung 4-21:).

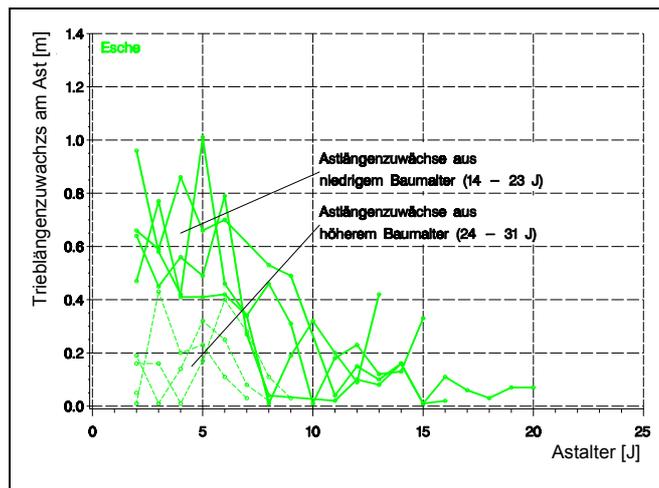


Abbildung 4-21: Trieb­längen­zu­wachs am Ast über dem Astalter, Baumart Esche: Fläche: MI_10, Baum Nummer 5. **Signaturen:** durchbrochene Linien: jährlicher Astlängenzuwachs des jeweils dicksten Astes pro Quirl (die jeweils 4 jüngsten Äste – Baumalter 14 bis 23 und der jeweils 4 ältesten Äste – Baumalter 24 bis 31 Jahre).

Da sich jedoch im Laufe des Astlängenwachstums der seitliche Konkurrenz­einfluss von Nachbarbäumen sowie die apikale Dominanz des Terminaltriebs an der Baumspitze immer stärker bemerkbar machen kann, wurde für die weiteren Überlegungen nur die Astlängenzuwächse der Astalter 2 bis 4 verwendet. Dabei wurde unterstellt, dass sich für diese Astlängenzuwächse noch kein seitlicher Konkurrenz­einfluss von Nachbarbäumen bemerkbar macht und auch der Einfluss der apikalen Dominanz vor dem Hintergrund witterungsbedingter jährlicher Zuwachs­unter­schiede eine untergeordnete Rolle spielt. Der durch das Dickenwachstum in den Schaft eingewachsene schaftnächste Astlängenzuwachs

(Astaltes = 1 J) eines jeden Astes wurde nicht in die folgenden Untersuchungen mit einbezogen.

Insgesamt standen 700 (45 Eschen) beziehungsweise 616 (37 Bergahorn) Messpaare für die jährlichen Zuwächse von Höhen- und Astlängentrieben zur Verfügung. Die Astlängenzuwächse decken einen Altersrahmen (Esche) von 6 bis 100 Jahren ab (Bergahorn: 5 – 83). Die gesamte Spannweite der Messwerte ergibt sich aus Tabelle 4-9:.

Tabelle 4-9: Wertebereich der jährlichen Triebhöhenzuwächse entlang des Schaftes und am Ast, sowie für Höhenbonität und Baumalter, Astalter = 2 bis 4 Jahre, Esche: N = 700; Bergahorn: N = 616, Bestandesbäume.

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn
Jährlicher Höhentriebzuwachs: ih [m]	0,01	0,01	2,40	2,00	0,47	0,49	0,311	0,357
Jährlicher Astlängenzuwachs: is [m]	0,01	0,01	1,71	1,87	0,35	0,38	0,248	0,305
jährliche ih/is-Relation: [-]	0,03	0,02	52,5	21,3	1,86	1,89	2,709	2,181
Höhenbonität (im Alter 60 J) [m]	21	18	33	30	27,1	24,0	3,3	3,3
Baumalter: a _B [m]	6	5	100	83	40,0	34,4	24,277	17,356

Über dem Baumalter zeigen die Astlängenzuwächse ein breites Streuband (Abbildung 4-22:., oben). Bis zu einem Baumalter von 40 Jahren sind besonders große Astlängenzuwächse zu verzeichnen, deren Niveau in höherem Baumalter nicht mehr erreicht wird. Jedoch sind auch in jungem Baumalter niedrige Astlängenzuwächse vorhanden.

Damit ergeben sich Hinweise auf **einen ähnlichen Verlauf von Höhenzuwachs und Astlängenzuwachs** (Astlängenzuwächse von Astalter 2 bis 4) über dem Alter des Baumes (vgl. Kapitel 4.1.1). Zur Verdeutlichung des allgemeinen Trends wurde zusätzlich das arithmetische Mittel der Astlängenzuwächse über Baumaltersklassen (Breite: 10 J) dargestellt (Abbildung 4-22:., unten). Beispielsweise erreichen bei Esche und Bergahorn die Astlängenzuwächse der Astalter 2 bis 4 in der Baumaltersklasse 15 J (11 – 20 J) Werte von über 0,6 m und sinken bis zur Altersklasse 85 J auf Werte unter 0,2 m ab. Dieser Trend ließ sich für Esche und für Bergahorn bestätigen (nichtparameterischer Test auf Verteilungsunterschiede zwischen den Altersklassen, Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0,05$). Damit kann davon ausgegangen werden, dass auch die Kronenexpansionsfähigkeit – hier dargestellt anhand der Astlängenzuwächse der Astalter 2 bis 4 Jahre - einem baumaltersspezifischen Trend folgt. Mit zunehmendem Baumalter sinkt somit die Geschwindigkeit der horizontalen Kronenausdehnung auszuweiten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass damit jedoch eine Aussage nur über den schaftnahen Kronenbereich getroffen werden kann.

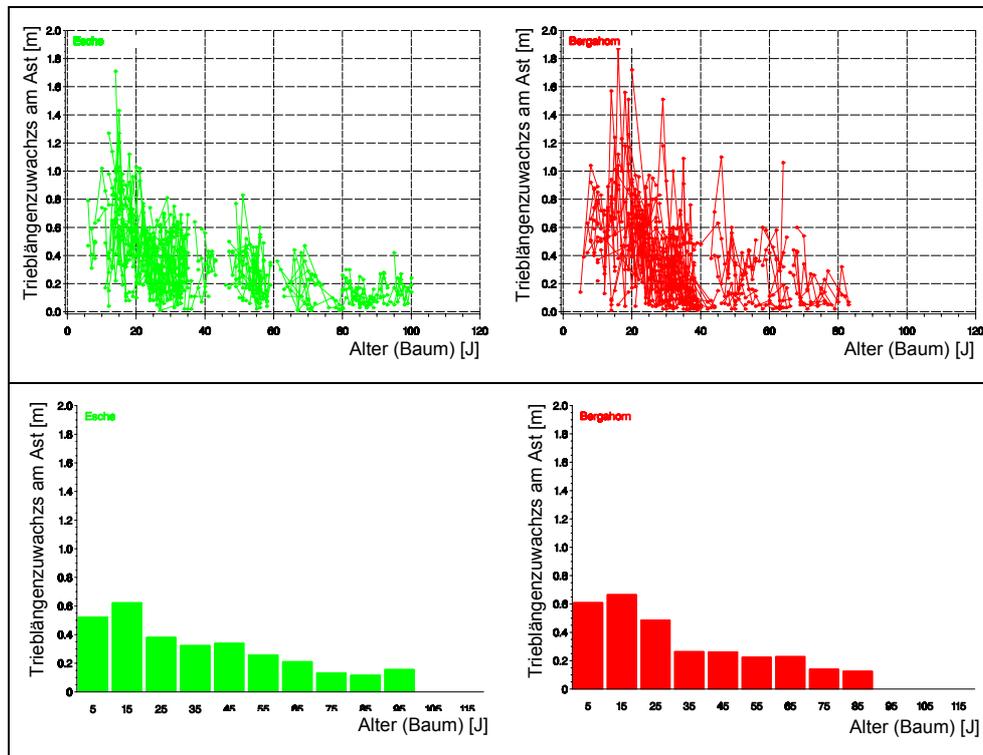


Abbildung 4-22: Zusammenhang zwischen Astlängenzuwachs und Baumalter. Darstellung der jährlichen Astlängenzuwächse der Astalter 2 bis 4 über dem Baumalter (oben) sowie der arithmetischen Mittel der jährlichen Astlängenzuwächse in Abhängigkeit vom Baumalter (unten). Da für die Astlängenzuwächse die Normalverteilungsvoraussetzung nicht erfüllt war, musste auf die Darstellung der Vertrauensintervalle verzichtet werden (Esche: links; Bergahorn: rechts), Bestandesbäume.

Zur Überprüfung der Zusammenhänge wurde aus den einzelnen Astlängenzuwächsen und dem Höhenzuwachs eines Jahres die dimensionslose **Relation ih/is** berechnet, die das Längenverhältnis beider Zuwachsgrößen beschreibt. Es wurde dabei der Höhenzuwachs aus den Triebhöhenmessungen des Jahres „x“ mit dem Astlängenzuwachs des gleichen Jahres „x“ eines zwei-, drei und vierjährigen Astes in Beziehung gesetzt. Mit einer ih/is – Relation geringer als 1 liegt der Astlängenzuwachs über dem Höhenzuwachs des gleichen Jahres. Werte von über 1 weisen auf größere Höhenzuwächse hin. Die Darstellung der ih/is – Relation weist über dem Baumalter ein großes Streuband auf (Abbildung 4-23:). Vereinzelt fanden sich ih/is – Relationen von über 10, die aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht dargestellt wurden. Eine gerichtete Streuung trat bei diesen Werten nicht auf. Als Ursache für solche extremen Werte konnte ein Ausfall der Terminalknospe des Astes oder des Höhentriebes mit nachfolgender Zwieselbildung ermittelt werden. Da die arithmetischen Mittel der ih/is – Relation für 10 Jahres-Stufen des Baumalters stark durch einzelne Extremwerte beeinflusst waren, wurde zusätzlich der Modalwert berechnet und die

einzelnen Werte mit einer Linie verbunden (Abbildung 4-23:). Als vereinfachte Regel kann davon ausgegangen werden, dass für beide Baumarten der Astlängenzuwachs für das Astalter von 2 bis 4 Jahren etwa 50 % des Höhenzuwachses erreicht (vgl. Tabelle 4-9:). Im Vergleich der ih/is-Relationen der einzelnen 10 Jahres-Stufen des Baumalters konnte kein gerichteter Trend nachgewiesen werden (nichtparameterischer Test auf Verteilungsunterschiede zwischen den Altersklassen, Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0,05$).

Eine Aufgliederung der Astlängenzuwächse sowie auch der ih/is-Relationen nach Standorten konnte keine Klarheit über die Abhängigkeit der Astlängenzuwächse von der Höhenbonität bringen. Für diese Fragestellung war keine ausreichende Anzahl von Beobachtungen je Höhenbonität über der gesamten Spreitung des Baumalters vorhanden.

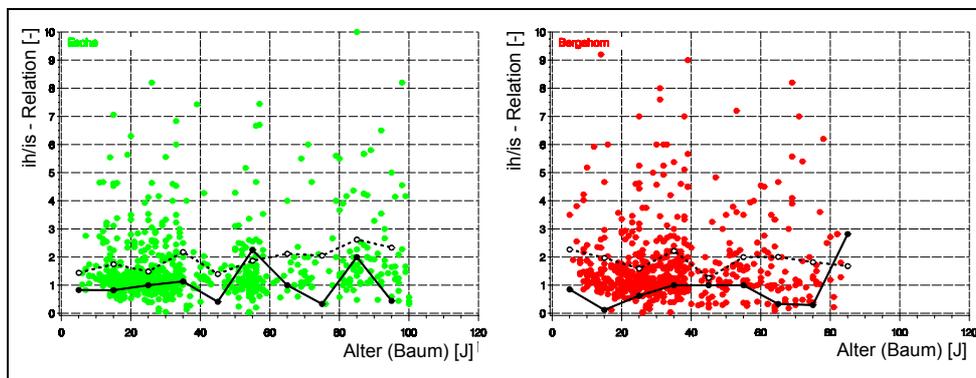


Abbildung 4-23: Verlauf der ih/is-Relation über dem Baumalter. Es wurden nur die ih/is-Relationen zu jährlichen Astlängenzuwächse der Astalter 2 bis 4 berechnet. Die mit einer gestrichelten Linie verbundenen Punkte zeigen die Mittelwerte (durchgezogene Linie: Modalwerte) in einzelnen 10 Jahres-Stufen (0 – 10 J, 11 – 20 J, bis 91 – 100 J), (Esche: links; Bergahorn: rechts), Bestandesbäume.

Zusammenfassend zeigt sich übereinstimmend, dass sowohl der Höhen- als auch der Astlängenzuwachs externen Einflussfaktoren wie Witterung und Klima unterliegt. Mit zunehmendem Alter des Astes machen sich Beschattungseinflüsse durch die Konkurrenz der Nachbarbäume, aber möglicherweise auch ein Einfluss der apikalen Dominanz des Terminaltriebes an der Baumspitze bemerkbar. Wie beim Höhenzuwachs kann auch beim Astlängenzuwachs (Astalter 2 bis 4 J) ein Einfluss des Baumalters in Form einer Kulmination des Astlängenzuwachses angenommen werden. Das Verhältnis von Höhen- und Astlängenzuwachs über dem Baumalter unterliegt dabei jedoch starken Schwankungen. Für die weiteren Überlegungen kann das Verhältnis von Höhenzuwachs und Astlängenzuwachs der Astalter 2 bis 4 Jahre als weitgehend konstant angenommen werden. Damit ergeben sich Folgen für die Expansionsfähigkeit der Krone in höherem Alter sowie für die Fähigkeit des Baumes freiwerdenden Kronenraum zu besetzen. Für detailliertere Folgerungen bedarf es jedoch der speziellen Untersuchung der horizontalen Kronenexpansion an den Ästen, die sich im Kontaktbereich zu Nachbarbäumen befinden.

4.4.3 Radius des asthaltigen Kerns

Für die folgende Untersuchung standen 635 vollständig überwallte Äste von 44 Eschen und 336 überwallte Äste von 25 Bergahornen zur Verfügung. Darunter befand sich ein Eschensolitär mit 2 überwallten Ästen. Die Wertebereiche für die erhobenen Parameter ergeben sich aus Tabelle 4-10:

Aus den Messungen zur Überwallung abgestorbener Äste kann der Radius des asthaltigen Kerns (in einseitiger Messung, vgl. Kapitel 2.5.2) anhand von Dimensionsparametern des überwallten Astes sowie Wachstumsparametern des Baumes geschätzt werden. Für Esche und Bergahorn zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem **Radius des asthaltigen Kerns, dem Astdurchmesser des überwallten Astes, dem Radialzuwachs in der Lebenszeit des Astes aus der Stammscheibe, die dem überwallten Ast am nächsten liegt, und dem Astansatzwinkel**. Mit einem linearen multiplen Regressionsmodell konnte ein hoher Anteil der Streuung der Einzelwerte erklärt werden (Esche: $r^2_{\text{adj.}} = 0,71$; $\alpha = 0,0001$; Bergahorn: $r^2_{\text{adj.}} = 0,66$; $\alpha = 0,0001$). Für die endgültige Modellformulierung wurde eine Quadratwurzeltransformation verwendet, um die geforderte Varianzgleichheit der y_i in den x_i -Klassen zu erreichen (vgl. Kapitel 2.7.2).

Tabelle 4-10: Wertebereiche für die an den überwallten Ästen erhobenen Parameter für Esche und Bergahorn (natürliche Astreinigung), Esche: N = 635; Bergahorn: N = 336, Bestandesbäume und Solitäre.

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn
Überwallungsdauer: [J]	1	1	26	46	7,7	7,0	3,01	4,60
Radius des asthaltiger Kerns: [cm]	1,3	0,8	16,5	19,0	6,0	6,2	2,19	2,70
Astdurchmesser: d_{ast} [cm]	0,2	0,2	4,9	4,8	1,5	1,3	0,71	0,74
Radialzuwachs in der Lebenszeit: ir_{leb} [mm]	0,97	1,21	7,07	7,28	4,22	3,87	1,130	0,960
Radialzuwachs in der Überwallungszeit: ir_{uew} [mm]	0,67	1,04	8,79	7,86	3,32	3,47	1,090	1,340
Astansatzwinkel: [Altgrad]	15	12	95	97	65	62	13,5	13,5

Anhand der Vorzeichen der Parameterschätzer wird deutlich, dass mit zunehmendem Astdurchmesser, mit zunehmendem Radialzuwachs in der Überwallungszeit der dem überwallten Ast nächstliegenden Stammscheibe, und mit zunehmendem Astansatzwinkel auch der Radius des asthaltigen Kerns zunimmt (Tabelle 4-11:). Ein signifikanter Einfluss der Variablen Astansatzwinkel konnte für die überwallten Bergahornäste nicht bestätigt werden. Auch wenn der Ansatzwinkel für Eschenäste nur noch knapp 1 % der Gesamtstreuung erklärt, so wurde dennoch nicht auf dessen Integration in das Modell verzichtet, da

nach der Modellgleichung Unterschiede im Astansatzwinkel von beispielsweise 70 Altgrad einem Unterschied im asthaltigen Kern von 0,4 cm entsprechen, was deutlich über der Messgenauigkeit von 1 mm liegt.

Tabelle 4-11: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Schätzung des Radius des asthaltigen Kerns [cm] durch den Astdurchmesser [cm], dem Radialzuwachs in der Lebenszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt, [mm]) und den Astansatzwinkel [Altgrad] als unabhängige Variablen für Esche und Bergahorn, natürliche Astreinigung), * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test), ** = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,05$ (F bzw. T-Test), Esche: $N = 635$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,72$; Bergahorn: $N = 336$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,66$, Bestandesbäume.

Variable	Parameter-schätzer		Standardfehler des Schätzers		Partielles r^2		Variance Inflation Factor	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	3,536*	3,746*	0,209	0,237	-	-	-	-
Astdurchmesser: d_{Ast} [cm]	1,489*	1,727*	0,048	0,070	0,64*	0,59*	1,28	1,00
Radialzuwachs in der Lebenszeit: ir_{leb} [mm]	0,351*	0,455*	0,028	0,054	0,07*	0,07*	1,09	1,00
Astansatzwinkel: [Altgrad]	0,006**	-	0,002	-	0,01**	-	1,19	-

Die Gegenüberstellung von gemessenen und vorhergesagten Werten zeigt eine gute Übereinstimmung (Abbildung 4-24:). Die **Residuen** streuen annähernd gleichmäßig über den unabhängigen Variablen (Abbildung 4-25:). Sie liegen überwiegend innerhalb einer Spreitung von -2 und $+2$ cm beidseits der Nulllinie.

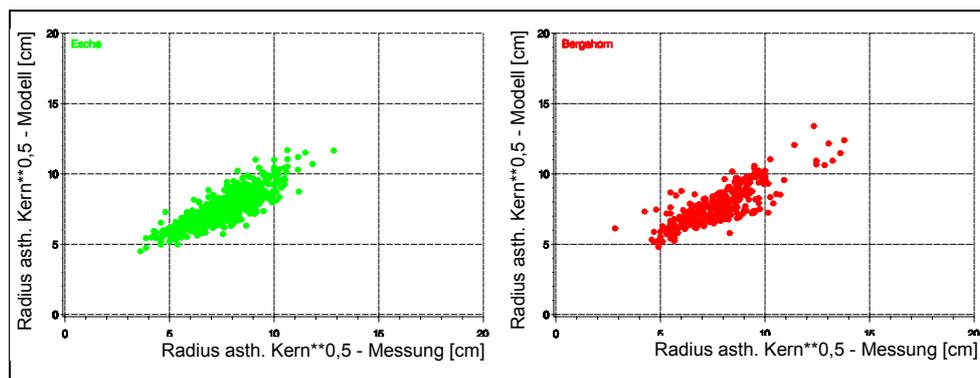


Abbildung 4-24: Gegenüberstellung der gemessenen Werte (nach Quadratwurzeltransformation) des Radius des asthaltigen Kerns mit den Werten des Modells; links: Esche, rechts: Bergahorn, jeweils natürliche Astreinigung, Bestandesbäume.

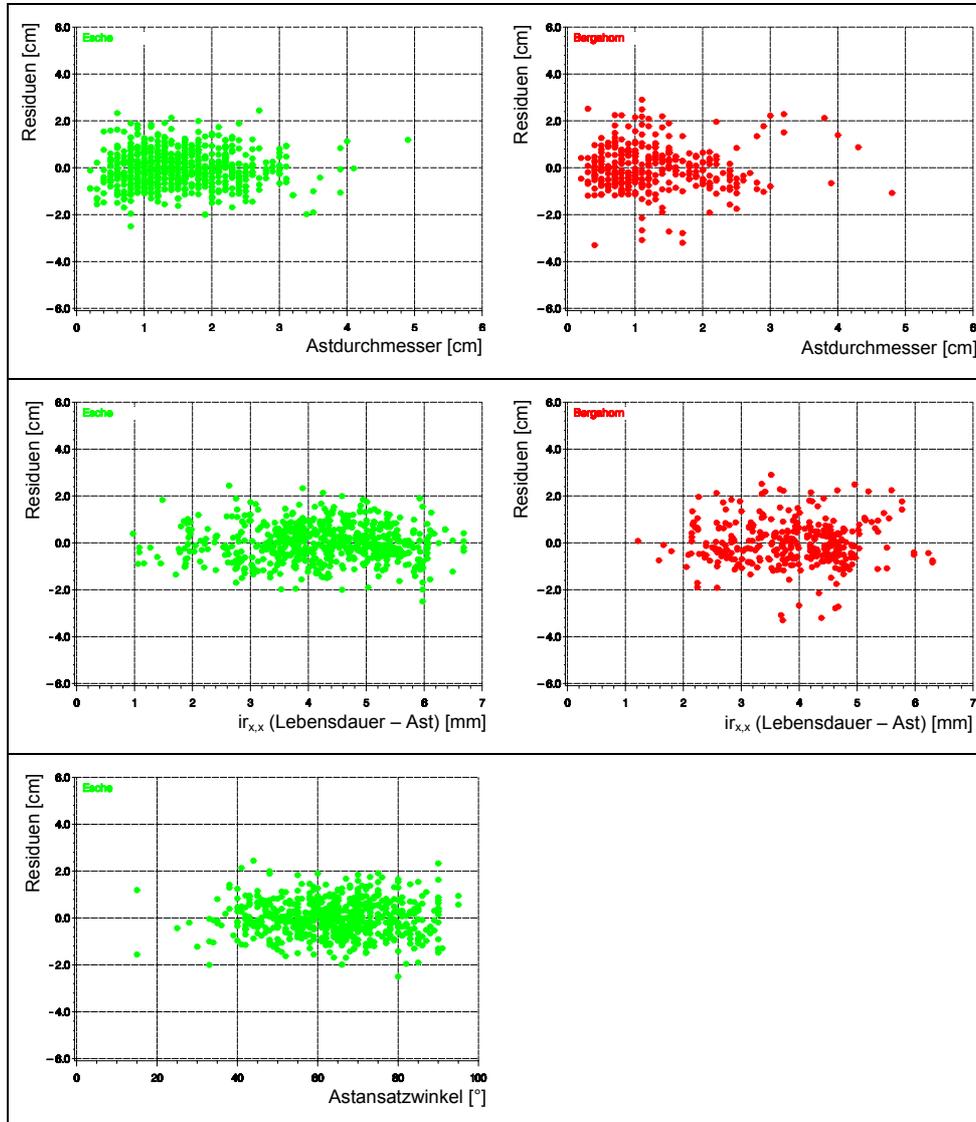


Abbildung 4-25: Residuen aus dem Modell zur Schätzung des Radius des asthaltigen Kerns über den unabhängigen Variablen Durchmesser des überwallten Astes (oben), dem Radialzuwachs in der Lebenszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt, Mitte) und dem Astanlaufwinkel (unten, nur für Esche); links: Esche; rechts: Bergahorn, jeweils natürliche Astreinigung, Bestandesbäume.

Im **Baumartenvergleich** konnte für Bergahorn der stärkere Anstieg des Radius des asthaltigen Kerns mit steigendem Astdurchmesser sowie steigendem Radialzuwachs als signifikant ($\alpha = 0,05$) nachgewiesen werden. Es ergab sich deshalb eine signifikante Inter-

aktion der Variablen Baumart mit der Variablen Radialzuwachs in der Lebenszeit des Astes und dem Astdurchmesser. Dies kann darauf hindeuten, dass bei Bergahorn ein Ast eines bestimmten Durchmessers oder bei einem bestimmten Radialzuwachs tendenziell länger am Schaft lebt und abstirbt als bei Esche, ehe er vollständig überwallt ist. Dies könnte in Übereinstimmung mit der Beobachtung einer höheren Schattentoleranz des Bergahorn gebracht werden. Aufgrund der leicht unterschiedlichen Datenlage für die überwallten Äste von Esche und Bergahorn kann eine entsprechende Interpretation nur vorläufigen Charakter aufweisen.

Die **Zerlegung des gesamten asthaltigen Kerns in einen lebendasthaltigen und einen totasthaltigen Teil** macht deutlich, dass der Radius des lebendasthaltigen Kerns linear mit zunehmendem Astdurchmesser ansteigt (Abbildung 4-26:). Während sich bei Astdurchmessern von 1 cm ein mittlerer Radius des lebendasthaltigen Kerns von 3 cm findet, steigt der Radius des lebendasthaltigen Kerns bei einem Astdurchmesser von 3 cm für beide Baumarten auf 9 bis 10 cm an. Dagegen variiert der totasthaltige Anteil des Kerns zwischen 0 und 5 cm unabhängig vom Astdurchmesser. Mit zunehmendem Durchmesser des Astes nimmt damit der totasthaltige Anteil am gesamten asthaltigen Kern kontinuierlich ab. Da zusätzlich der Überwallungszeitraum vom Abbruchverhalten eines abgestorbenen Astes abhängt und der tote Aststummel den Radius des totasthaltigen Kerns unabhängig vom Durchmesser des Astes beeinflusst, kann hierin ein Erklärungsansatz für die beträchtliche Streuung der Überwallungsdauer gesehen werden (s. folgendes Kapitel).

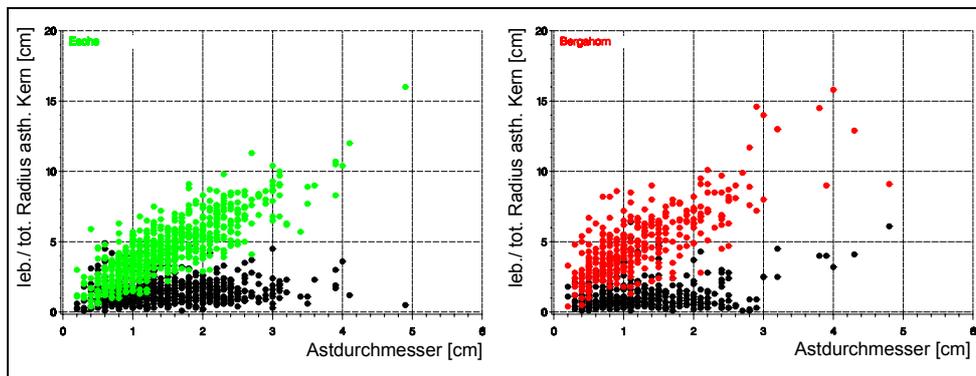


Abbildung 4-26: Darstellung des Radius des asthaltigen Kerns [cm] aufgeteilt nach lebendasthaltigem (hellgrau links; dunkelgrau rechts) und totasthaltigem (schwarz) Teil über dem Durchmesser des überwallten Astes [cm]; links: Esche; rechts: Bergahorn, jeweils natürliche Astreinigung, Bestandesbäume.

4.4.4 Überwallungsdauer

Nach dem Absterben des Astes beginnt die Überwallung, die bis zum vollständigen Verschließen der Abbruchstelle durch das Dickenwachstum des Schaftes andauert. Aus der Differenz von Überwallungsjahr und Absterbejahr ergibt sich somit die Überwallungsdauer (vgl. Kap. 2.5.2). Da mit der Exposition des abgestorbenen Astes gegenüber Witterungs-

einflüssen wie Feuchtigkeit oder biotischen Faktoren (pilzliche Infektionen, Insekten) eine Gefährdung der Wertholzproduktion einhergehen kann, wird im Folgenden die Überwallungsdauer untersucht. Als relevante Wachstums- und Dimensionsgrößen, deren Einfluss auf die beiden Zielgrößen vermutet wird, werden der Astdurchmesser, der Radialzuwachs in der Überwallungsperiode (jeweils derjenigen Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt) sowie der Astansatzwinkel betrachtet. Im Folgenden wird zunächst die **Überwallung nach natürlicher Astreinigung** untersucht.

Die Überwallungsdauer von Ästen unterschiedlichen Durchmessers streut für beide Baumarten sehr. Es ist lediglich ein leichter Anstieg der Überwallungsdauer mit zunehmendem Astdurchmesser zu beobachten (Abbildung 4-27:, oben). Der Großteil der Äste mit einem Durchmesser von 1,0 cm kann in 3 bis zu 11 Jahren durch das Dickenwachstum des Schaftes verschlossen werden (Esche). Aber auch bei Ästen mit 3,0 cm Durchmesser findet sich eine beträchtliche Variation der Überwallungsdauer. Auffällig ist die über 10 Jahre lange andauernde Überwallungszeit einiger Äste von 0,5 bis 1,5 cm Durchmesser. Dieses Phänomen findet sich bei beiden Baumarten. Auch die Darstellung der Überwallungsdauer über dem Radialzuwachs in der Überwallungszeit zeigt eine beträchtliche Streuung (Abbildung 4-27:, Mitte). Mit zunehmendem Radialzuwachs nimmt die Überwallungsdauer leicht ab. Ein Zusammenhang zwischen der Überwallungsdauer und dem Astansatzwinkel lässt sich anhand der graphischen Beurteilung nicht nachweisen (Abbildung 4-27:, unten).

Die Überwallungsdauer weist somit für beide Baumarten eine **beträchtliche Streuung** auf. Der Durchmesser des überwallten Astes, der Radialzuwachs in der Überwallungszeit sowie der Astansatzwinkel können als einzelne erklärende Variablen diese Streuung nicht befriedigend erklären. Zur Analyse weiterer Einflussfaktoren wurden deshalb die Ergebnisse aus der Untersuchung der tot- und lebendasthaltigen Anteils de Radius des asthaltigen Kerns in die Schätzung der Überwallungsdauer integriert (vgl. Kapitel 4.4.3). Im Laufe dieser Analyse war deutlich geworden, dass der totasthaltige Teil des asthaltigen Kerns großen Streuungen unterworfen ist. Deshalb wurde diese Variable zusammen mit dem Astdurchmesser und dem Radialzuwachs in der Überwallungszeit in ein multiples Regressionsmodell zur Berechnung der Überwallungszeit integriert (Tabelle 4-12:).

Im **Gesamtmodell zur Vorhersage der Überwallungszeit** konnten 48 % (Esche) beziehungsweise 64 % (Bergahorn) der Gesamtstreuung erklärt werden. Mit zunehmendem totasthaltigen Anteil des asthaltigen Kerns sowie mit zunehmendem Astdurchmesser ist eine Verlängerung der Überwallungsdauer zu erwarten. Dabei kann der totasthaltige Anteil des asthaltigen Kerns bei Esche weitere 20 % und bei Bergahorn weitere 24 % der Gesamtstreuung des Modells klären. Mit steigendem Radialzuwachs in der Überwallungszeit sinkt die Überwallungszeit. In den Modellen zur Überwallungszeit kann bei beiden Baumarten der Radialzuwachs den größten Anteil zur Klärung der Gesamtstreuung leisten. Im Gesamtmodell leistet der Astdurchmesser nur noch einen geringen Anteil zur Gesamtstreuung. Die Überprüfung der unabhängigen Variablen auf Kollinearität ergab keinen Hinweis auf übermäßige gegenseitige Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Baumalter (VIF < 5). Die Gültigkeit des Modells ergibt sich aus den in Tabelle 4-10: aufgeführten Wertebereichen.

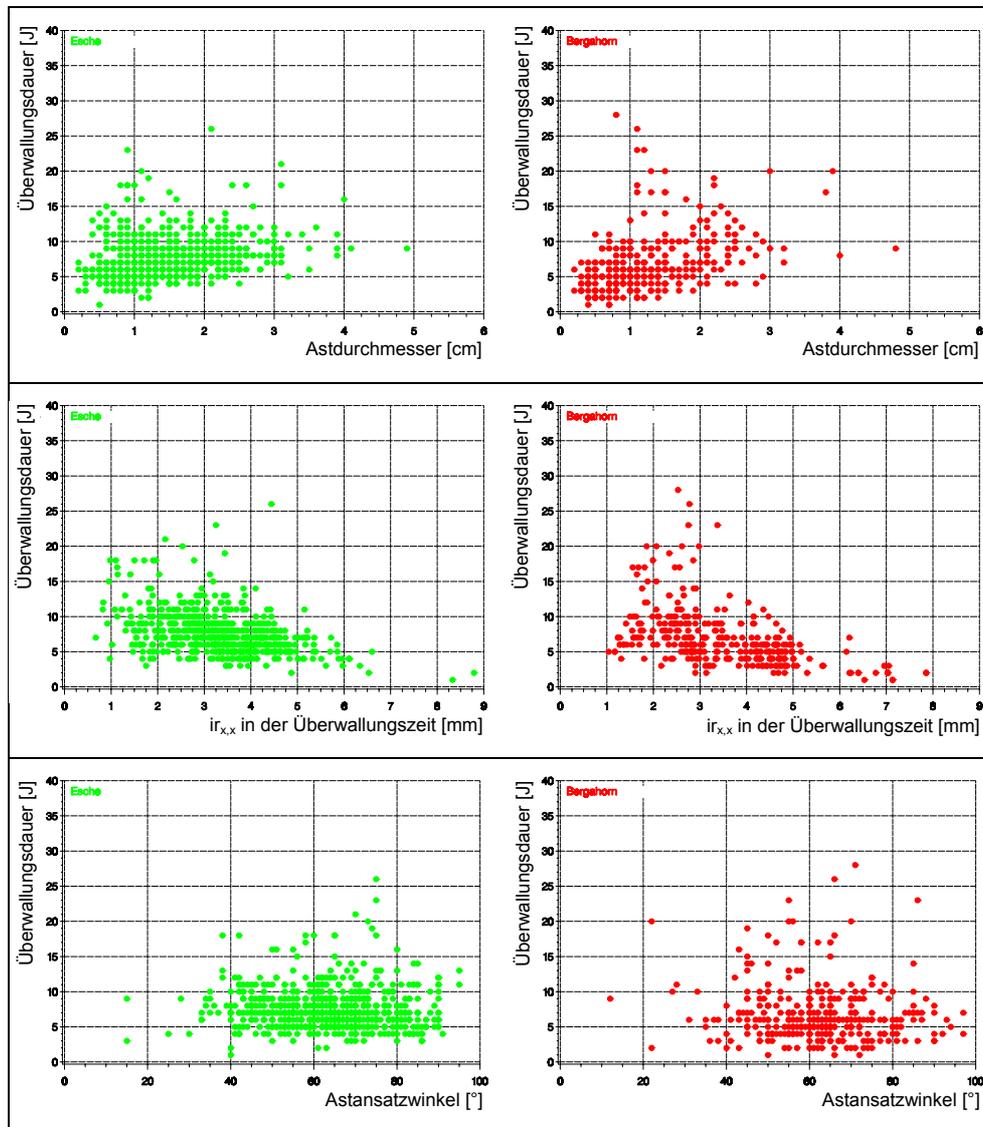


Abbildung 4-27: Darstellung der Überwallungsdauer (Jahr) über dem Astdurchmesser (oben), dem Radialzuwachs in der Überwallungsperiode (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt) (Mitte) und dem Astansatzwinkel (unten); Esche: links; Bergahorn: rechts, jeweils natürliche Astreinigung, Bestandesbäume.

Im **Baumartenvergleich** konnte kein signifikanter Unterschied ($\alpha = 0,05$) in der Überwallungsdauer nachgewiesen werden. Es ergaben sich weder Unterschiede im Interzept noch ergaben sich signifikante Interaktionen der Variablen Baumart mit anderen unabhängigen Variablen.

Die Überprüfung der **Residuen** und die Gegenüberstellung der beobachteten Werte mit den Modellwerten des Modells ergab eine gute Anpassung des Modells an das Datenmaterial. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde an dieser Stelle auf eine grafische Darstellung verzichtet.

Tabelle 4-12: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Schätzung der Überwallungsdauer ($\ln(y)$, [J]) durch den Radialzuwachs in der Überwallungszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt, [mm]), durch den totasthaltigen Anteil des asthaltigen Kerns [cm] und durch den Astdurchmesser [cm] als unabhängige Variablen für Esche und Bergahorn, natürliche Astreinigung), * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test), Esche: $N = 635$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,48$; Bergahorn: $N = 336$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,64$, Bestandesbäume.

Variable	Parameter-schätzer		Standardfehler des Schätzers		Partielles r^2		Variance Inflation Factor	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	2,116*	2,069*	0,044	0,072	-	-	-	-
Radialzuwachs in der Überwallungszeit: $i_{r_{\text{Uew}}}$ [mm]	-0,176*	-0,214*	0,010	0,014	0,23*	0,38*	1,0	1,1
Totasthaltiger Anteil des asthaltigen Kerns: [cm]	0,192*	0,250*	0,013	0,019	0,20*	0,24*	1,0	1,1
Astdurchmesser: d_{Ast} [cm]	0,114*	0,127*	0,015	0,027	0,05*	0,02*	1,0	1,2

4.4.5 Wachstum der Primäräste bei Solitären

Zur Analyse des **Zusammenhang zwischen Länge und Durchmesser** von Ästen von Solitären standen 63 Äste bis in eine Höhe am Schaft von 15 m zur Verfügung (8 Solitäre). Da nur 7 Bergahornäste vorlagen, diese von einem einzigen Bergahornsolitär stammten und bei optischer Überprüfung der Lage der Werte kein baumartspezifischer Unterschied feststellbar war, erfolgte die Auswertung unabhängig von der Baumart. Ab einem Astdurchmesser von über 5 cm lagen nur noch wenige Werte vor, zudem wies ihre Lage auch auf eine Zunahme der Streuung hin, deshalb wurde die Regressionanalyse auf mittlere Astdurchmesser von unter 5 cm beschränkt. Der Wertebereich ist aus Tabelle 4-13: ersichtlich.

Ähnlich wie bei den Bestandesbäumen kann auch hier die Varianz des mittleren Astdurchmessers gut durch die Variation der Astlänge erklärt werden (Tabelle 4-14.; Abbildung 4-28:). Mit diesen Ergebnissen zeigen sich deutliche **Unterschiede zum entsprechenden Zusammenhang von Bestandesbäumen**. Bei gleicher Länge weisen Äste von Solitären deutlich größere Astdurchmesser auf. Bei einer Astlänge von zum Beispiel 1 m beträgt der Unterschied nur 0,4 cm, bei einer Astlänge von 4 m bereits 1,2 cm (jeweils Esche-Bestandesbäume).

Tabelle 4-13: Gültigkeitsbereiche für die einzelnen Variablen der Modelle zum Zusammenhang Astlänge und Astdurchmesser für Esche und Bergahorn, N = 63, (Esche: N = 56; Bergahorn: N = 7), Solitäre.

Variable	Untergrenze	Obergrenze	Arithm. Mittelwert des Datenmaterials	Standardabweichung des Datenmaterials
Astdurchmesser: d_{ast} [cm]	0,3	4,8	2,1	1,27
Astlänge: l_{ast} [m]	0,05	3,94	1,57	1,140

Tabelle 4-14: Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Schätzung des Astdurchmessers mit Rinde [cm] durch die Astlänge [m] als unabhängige Variable; ohne Differenzierung nach Baumart; Solitäre, *= signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test), Esche und Bergahorn zusammen: N = 63.

Variable	Parameterschätzer	Standardfehler des Schätzers	Bestimmtheitsmaß: r^2
Interzept	0,399*	0,069	-
Astlänge: l_{ast} [m]	1,076*	0,036	0,94* adj.: 0,94

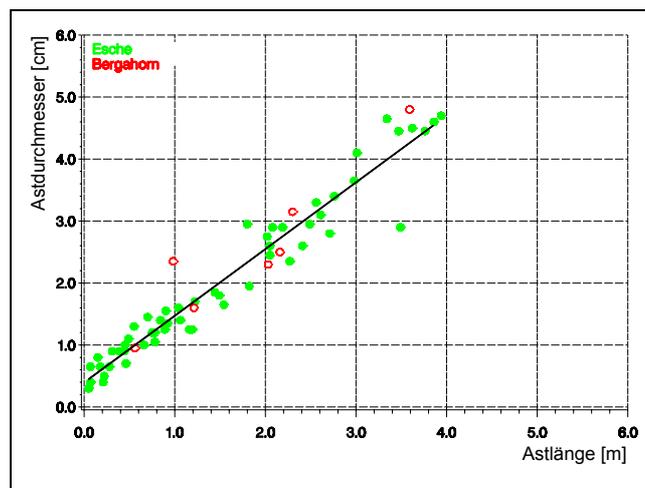


Abbildung 4-28: Entwicklung von Astdurchmesser und Astlänge für Eschen- und Bergahornsolitäre, **Signaturen** Esche: Punkt, hellgrau; Bergahorn: Ring, dunkelgrau.

Zur **statistischen Überprüfung der Unterschiede dieses Zusammenhangs zwischen Ästen von Bestandesbäumen und Solitären** wurde die Variable „Astherkunft“ eingeführt. Der Unterschied in der Steigung des y-Achsenabschnittes zwischen beiden Kollektiven ist signifikant ($\alpha = 0,0001$) gesichert. Der Interzept hingegen unterscheidet sich nicht. Für das vorliegende Datenmaterial kann deshalb ein Unterschied für Bestandesbäume und Solitäre bezüglich des Zusammenhangs zwischen Astdurchmesser und Astlänge zum gewählten Signifikanzniveau als gesichert angenommen werden. Angesichts des noch geringen

Datenumfangs insbesondere für Bergahorn, der geringen Absicherung des Zusammenhangs für mittlere Astdurchmesser von über 5 cm muss jedoch auf den explorativen Charakter der Untersuchung zu Ästen von Solitären hingewiesen werden.

4.5 ÄSTUNG VON ESCHE UND BERGAHORN

4.5.1 Radius des asthaltigen Kerns

Entsprechend der Seltenheit von Ästungen an Esche und Bergahorn konnten in die Untersuchung der Überwallung nach Ästung nur 30 Eschenäste und 41 Bergahornäste mit einbezogen werden. Die vollständig überwallten, geästeten Äste stammten von 10 Eschen und 6 Bergahornen mit durchschnittlich 3,0 (Esche) und 6,8 (Bergahorn) überwallten geästeten Ästen. 14 Äste kamen von insgesamt 3 Eschensolitären. Um eine regressionsanalytische Auswertung vergleichbar zur natürlichen Astreinigung zu ermöglichen, erfolgten die **Auswertungen für beide Baumarten zusammen**. Deswegen muss auch auf den **explorativen Charakter** der folgenden Auswertungen hingewiesen werden.

Die Vermessung des Radius des asthaltigen Kerns (vgl. Kapitel 2.5.2) ermöglichte rückblickend die Erkenntnis, ob ein Ast **lebend oder bereits abgestorben** entfernt wurde. Mit einer Ausnahme (ein Bergahornast) waren Grünästungen durchgeführt worden. Wegen des geringen Stichprobenumfangs erfolgten die **Auswertungen a priori integrativ für beide Baumarten**. Dabei muss auf einen wichtigen Unterschied im Datenmaterial hingewiesen werden: im Datenmaterial lagen für geästete Bergahornäste deutlich größere asthaltige Kerne vor als für Eschenäste. Dies ist auf Unterschiede im Ästungszeitpunkt zurückzuführen. Neben dem geringen Stichprobenumfang muss auch deswegen auf den **explorativen Charakter** der folgenden Auswertungen hingewiesen werden.

Auch für dieses Astkollektiv zeigte sich ein straffer Zusammenhang zwischen dem **Radius des asthaltigen Kerns, dem Astdurchmesser des überwallten Astes und dem Radialzuwachs in der Lebenszeit des Astes aus der Stammscheibe, die dem überwallten Ast am nächsten liegt**. Mit dem linearen multiplen Regressionsmodell konnte ein hoher Anteil der Streuung der Einzelwerte erklärt werden ($r^2_{\text{adj.}} = 0,92$; $\alpha = 0,0001$; Tabelle 4-15:).

Tabelle 4-15: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Schätzung des asthaltigen Kerns [cm] durch den Astdurchmesser [cm] und dem Radialzuwachs in der Lebenszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt, [mm]) als unabhängige Variablen im gemeinsamem Modell für Esche und Bergahorn, Ästung), * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test), Esche und Bergahorn: $N = 71$, $r^2_{\text{adj.}} = 0,92$ (Modell ohne Interzept), Bestandesbäume.

Variable	Parameter-schätzer Esche und Bergahorn	Standardfehler des Schätzers Esche und Bergahorn	Partielles r^2 Esche und Bergahorn	Variance Inflation Factor Esche und Bergahorn
Interzept	-	-	-	-
Astdurchmesser: d_{Ast} [cm]	1,875*	0,206	0,88*	3,7
Radialzuwachs in der Lebenszeit: i_{leb} [mm]	0,640*	0,099	0,05*	3,7

Tabelle 4-16: Wertebereiche für die an den überwallten Ästen erhobenen Parameter für Esche und Bergahorn (Ästung), Esche: $N = 30$; Bergahorn: $N = 41$, Bestandesbäume.

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	
Überwallungsdauer: [J]	1	1	7	11	2,8	3,8	1,45	2,81
Asthaltiger Kern bis zum Mark: [cm]	0,8	4,7	18,0	11,0	5,3	8,2	3,30	1,58
Astdurchmesser: d_{ast} [cm]	0,4	0,5	6,5	5,0	1,9	2,2	1,26	1,04
Radialzuwachs in der Lebenszeit: i_{leb} [mm]	3,1	2,5	6,2	7,3	4,7	4,8	0,95	1,17
Radialzuwachs in der Überwallungszeit: i_{uew} [mm]	2,5	1,48	9,7	8,1	6,0	5,3	1,85	3,11
Astansatzwinkel: [Altgrad]	39	39	90	86	66,5	57,7	12,8	10,11

Die **Gültigkeitsgrenzen** ergeben sich aus Tabelle 4-16. Da der Interzept zur Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ nicht signifikant war, wurde eine Modellformulierung ohne Interzept gewählt. Dadurch ergaben sich leicht erhöhte Werte für den Variance Inflation Factor mit der Folge einer leichten Überschätzung des Bestimmtheitsmaßes. Da jedoch sowohl die Vorzeichen der Parameterschätzer sinnvoll interpretierbar blieben und auch die Analyse der Residuen keine Auffälligkeiten zeigte, wurde diese Modellformulierung beibehalten (vgl. Abbildung 4-29). Dennoch ist zu beachten, dass die gemeinsame Ausgleichsfunktion bei einer baumartenweisen Betrachtung eine Fehlschätzung aufweist: der Radius des asthaltigen Kerns der Eschen wird überschätzt und derjenige des Bergahorn unterschätzt. Wegen des explorativen Charakters der Auswertung wird jedoch die gemeinsame regressionsanalytische Bearbeitung beibehalten.

Anhand der Vorzeichen der Parameterschätzer wird deutlich, dass mit zunehmendem Astdurchmesser und mit zunehmendem Radialzuwachs in der Überwallungszeit der dem überwallten Ast nächstliegenden Stammscheibe, wie schon bei dem entsprechenden Modell für die natürliche Astreinigung, der asthaltige Kern zunimmt. Ein signifikanter Einfluss der Variablen **Astansatzwinkel** konnte nicht bestätigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Datenlage bei Esche und Bergahorn wurde zur Vermeidung von Fehlinterpretationen kein Baumartenvergleich durchgeführt. Dies ist auch bei der baumartenweisen Betrachtung der Residuen zu berücksichtigen.

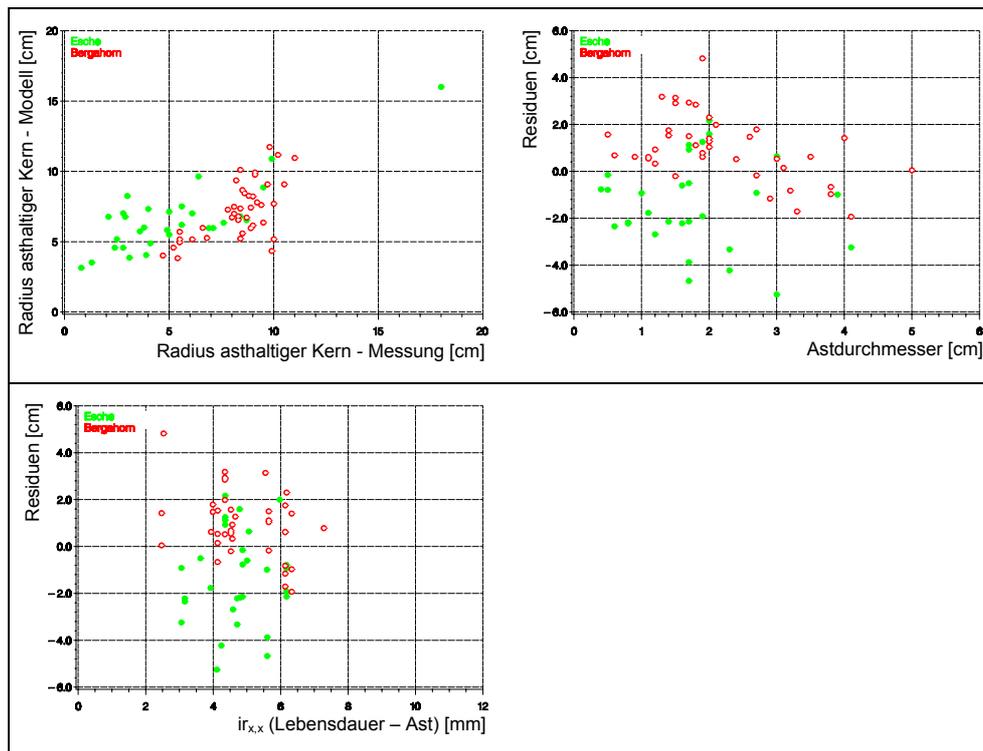


Abbildung 4-29: Gegenüberstellung der gemessenen Werte des asthaltigen Kerns mit den Werten des Modells (oben, rechts) und über dem Durchmesser des überwallten Kerns (oben, links) und der Residuen über dem Radialzuwachs in der Lebenszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt, unten, links); **Signaturen** Esche: Punkt, hellgrau; Bergahorn: Ring, dunkelgrau; gemeinsames Modell für Esche und Bergahorn, jeweils Ästung, Bestandesbäume.

Bedingt durch den Messpunkt des Radius des totasthaltigen Kerns als Distanz zwischen dem Mark im Schaftzentrum und dem Beginn des braun-schwarz verfärbten, abgestorbenen Teil des Astes (vgl. Kapitel 2.5.2), konnte **auch bei Grünästung ein kleiner, dunkel gefärbter, totasthaltiger Stummel** auftreten. Die Darstellung des asthaltigen Kerns zeigt den Anstieg des lebendasthaltigen Kerns über dem Durchmesser des geästeten, überwallten Astes (Abbildung 4-30:). Durch die Grünästung ist bei der Mehrzahl der überwallten Äste

kein oder nur ein geringer dunkel gefärbter, totasthaltiger Teil vorhanden. Der lebendasthaltige Anteil nimmt in diesen Fällen fast 100 % des asthaltigen Kerns ein. Es zeigt sich somit ein Vorteil der Ästung gegenüber der natürlichen Astreinigung durch das Wegfallen des in seiner Ausdehnung sehr variablen, totasthaltigen Anteils des asthaltigen Kerns.

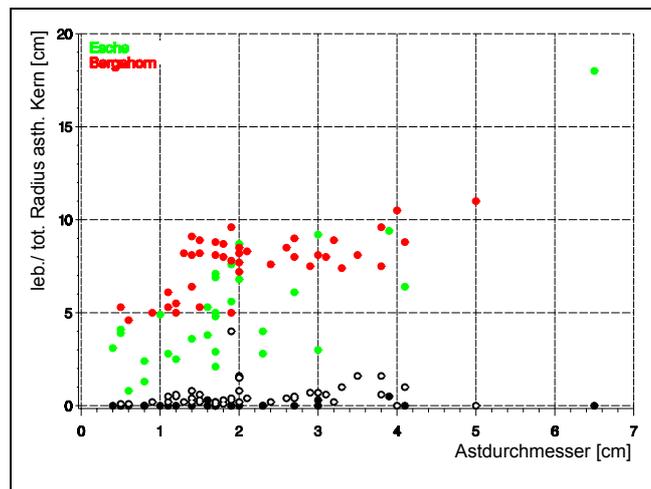


Abbildung 4-30: Darstellung des asthaltigen Kerns bis zum Mark, aufgeteilt nach lebendasthaltigem und totasthaltigem Teil über dem Durchmesser des überwallten Astes (Esche, Ästung), **Signaturen** lebendasthaltiger Teil: Esche: Punkt, hellgrau; Bergahorn: Punkt, dunkelgrau; **Signaturen** totasthaltiger Teil: Esche: Punkt, schwarz; Bergahorn: Ring, schwarz, Bestandesbäume.

4.5.2 Überwallungsdauer

Die Wertebereiche der an überwallten, geästeten Ästen erhobenen Parameter wurden in Tabelle 4-16: dargestellt. Wie auch bei der Analyse der **Überwallungsdauer** bei natürlicher Astreinigung zeigten sich auch **bei den geästeten überwallten Ästen** Streuungen in der Überwallungsdauer (Abbildung 4-31:). Die Überwallungsdauer lag bei vergleichbaren Astdurchmessern oder Radialzuwachsen in der Überwallungszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt) jedoch niedriger im Vergleich zu den Werten der natürlichen Astreinigung. Insgesamt stammten die überwallten Äste jedoch von Bäumen mit höheren Radialzuwachsen in der Überwallungszeit. Auffällig sind einzelne, auffallend hohe Werte der Überwallungsdauer selbst bei einem großen Radialzuwachs in der Überwallungszeit.

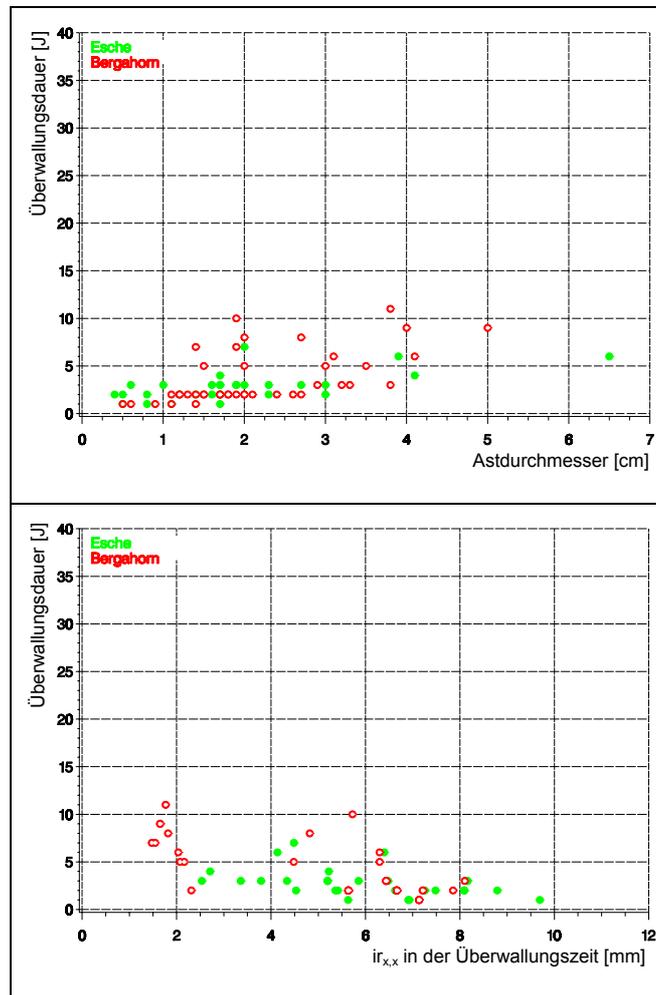


Abbildung 4-31: Darstellung der Überwallungsdauer (Jahr) über dem Astdurchmesser (oben) sowie über dem Radialzuwachs in der Überwallungszeit (unten), für Esche und Bergahorn, jeweils Ästung, Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt. **Signaturen** Esche: Punkt, hellgrau; Bergahorn: Ring, dunkelgrau, Bestandesbäume.

Mit dem Astdurchmesser zum Zeitpunkt der Ästung und dem Radialzuwachs in der Überwallungszeit wurde ein multiples Regressionsmodell mit der Überwallungszeit als abhängiger Größe berechnet (Tabelle 4-17:). Aufgrund der geringen Anzahl der Beobachtungen je Baumart wurde ein gemeinsames Modell für beide Baumarten erstellt. Im **Gesamtmodell zur Vorhersage der Überwallungszeit** konnten 55 % (Esche und Bergahorn) der Gesamtstreuung erklärt werden. Ein Einfluss des Astansatzwinkels auf die Überwallungsdauer war nicht signifikant ($\alpha = 0,05$). Mit zunehmendem Astdurchmesser ist eine Verlängerung der Überwallungsdauer zu erwarten. Mit steigendem Radialzuwachs in

der Überwallungszeit sinkt die Überwallungszeit. Der Radialzuwachs leistet dabei den größten Anteil zur Klärung der Gesamtstreuung.

Tabelle 4-17: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zur Schätzung der Überwallungsdauer ($\ln(y)$, [J]) durch den Radialzuwachs in der Überwallungszeit (Radialzuwachs der Stammscheibe, die dem einzelnen überwallten Ast am nächsten liegt, [mm]) und durch den Astdurchmesser [cm] als unabhängige Variablen in einem gemeinsamen Modell für Esche und Bergahorn, Ästung), * = signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F bzw. T-Test), $N = 71$, $r^2_{adj.} = 0,55$, Bestandesbäume.

Variable	Parameter-schätzer Esche und Bergahorn	Standardfehler des Schätzers Esche und Bergahorn	Partielles r^2 Esche und Bergahorn	Variance Inflation Factor Esche und Bergahorn
Interzept	1,388*	0,234	-	
Radialzuwachs in der Überwallungszeit: ir_{uew} [mm]	-0,148*	0,029	0,43*	1,3
Astdurchmesser: d_{Ast} [cm]	0,214*	0,051	0,12*	1,3

Im Vergleich der Überwallungsdauer nach natürlicher Astreinigung und Ästung wird der Vorteil der Ästung durch den **Wegfall des totasthaltigen Anteils des asthaltigen Kerns** deutlich. Die durchschnittliche Überwallungsdauer verkürzt sich im Gegensatz zur natürlichen Astreinigung bei Ästung beträchtlich: beispielsweise liegt sie bei einem Radialzuwachs von 3 mm und einem Astdurchmesser zum Zeitpunkt der Ästung von 4 mm mit 6 Jahren um 5 Jahre niedriger als nach natürlicher Astreinigung (vgl. dazu die Zusammenstellung im Rahmen einer Entscheidungshilfe in Kapitel 6.1, Tabelle 6-5:). Doch auch nach Ästung gelten weiterhin die wachstumskundlichen Gesetzmäßigkeiten, wonach mit steigendem Radialzuwachs in der Überwallungszeit die Überwallungsdauer sinkt.

4.5.3 Qualität der Ästung

Die Analyse der überwallten geästeten Äste ließ auch retrospektiv **eine Beurteilung der Ästungsqualität** zu. Deutliche Verletzungen des Schaftes konnten über Verfärbungen des Stammholzes erfasst werden. An 20 der 71 überwallten, geästeten Äste konnten durch den Ästungsvorgang verursachte Farbveränderungen festgestellt werden. Dies trat an 14 der geästeten Eschenäste (46,7 %) und an 6 der geästeten Bergahornäste (14,6 %) auf. Dabei erfolgte eine Verfärbung zumeist in beide Richtungen entlang der Schaftachse. An keinem der Äste, an denen nur Astholz von der Ästung beschnitten wurde, war eine solche Verfärbung zu beobachten (Abbildung 4-32:). An einigen überwallten Ästen war auch ein Rückschluss auf die Auswahl der zu entfernenden Äste möglich. Offensichtlich waren nicht alle Äste eines Quirls entfernt worden, sondern nur eine Auswahl getroffen worden. Aus der Astentwicklung der nicht im Zuge der Ästungsmaßnahme entfernten Äste können Vergleiche zur potentiellen Astentwicklung ohne Ästung angestellt werden. Aufgrund des geringen Datenumfanges waren jedoch weitergehende quantitative Auswertungen zu den

geästeten Ästen nicht möglich. Vor diesem Hintergrund muss der explorative Charakter dieses Ergebnisteils nochmals betont werden.



Abbildung 4-32: Überwallter geästeter Ast von Esche (links) und Bergahorn (rechts).

4.6 AUFTRETEN VON LEBENDEN SEKUNDÄRÄSTEN

4.6.1 Häufigkeit des Auftretens von lebenden Sekundärästen

Sekundäräste, auch Wasserreiser oder Angstreiser genannt, treten je nach Baumart und in Abhängigkeit von Umweltfaktoren in unterschiedlicher Häufigkeit auf. Im Folgenden werden Zusammenhänge zwischen der **Häufigkeit des Auftretens von lebenden Sekundärästen zweier Längenklassen in Abhängigkeit von Dimensions- und Wachstumsgrößen des Einzelbaumes** untersucht. Für die Auswertungen zur Sekundärastbildung standen 832 Eschen und 653 Bergahorne zur Verfügung.

Mindestenes einen Sekundärast unterhalb des Kronenansatzes wiesen 23,2 % der Eschen und 43,3 % der Bergahorne auf. Aus der Anzahl der lebenden Sekundäräste bis zum Kronenansatz und der Höhe des Kronenansatzes wurde die **Sekundärastdichte pro 2 Laufmeter** für Sekundäräste unter 1 m und über 1 m Länge (einschließlich) berechnet. An Eschen fanden sich zwischen 0 und 9,1 im Mittel 0,2 lebende Sekundäräste und an Bergahornen zwischen 0 und 10,3 im Mittel 1,0 lebende Sekundäräste/ 2 lfm (< 1 m Sekundärastlänge). Lebende Sekundäräste über einem Meter Länge fanden sich an Esche im Mittel mit 0,2/ 2 lfm in gleicher Dichte wie an Bergahorn (0,2 / 2 lfm).

Zur weiteren Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Sekundärastdichte wurden die Bäume in **Klassen verschiedener Sekundärastdichte** unterteilt; die Klassenbreite betrug jeweils 0,2 lebende Sekundäräste/ 2 lfm. Da insbesondere bei Esche nur wenige Bäume mehr als 1,0 lebende Sekundäräste/ 2 lfm aufwiesen, wurden diese der insgesamt höchsten Klasse (0,8 bis 1,0/ 2 lfm) zugeordnet. Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der

Sekundärastdichte an den Einzelbäumen waren die Bäume mit weniger als 0,2 lebenden Sekundärästen/ 2 lfm für beide Baumarten stets am zahlreichsten. Die relative Häufigkeit der Bäume mit mehr lebenden Sekundärästen/ 2 lfm blieb jeweils für jede weitere Dichtestufe unter 15 %; deshalb ergibt jeweils eine typische linkssteile Verteilung, die unabhängig von den im folgenden Abschnitt gebildeten Klassen auftrat. Beispielhaft wird diese Situation für Esche für alle lebenden Sekundäräste ≥ 1 m Länge in Abbildung 4-33: dargestellt. Bedingt durch diese von der Normalverteilung abweichenden Streuungen in den einzelnen Klassen können im Folgenden keine Vertrauensintervalle angezeigt werden. Entsprechend müssen verteilungsfreie Tests durchgeführt werden.

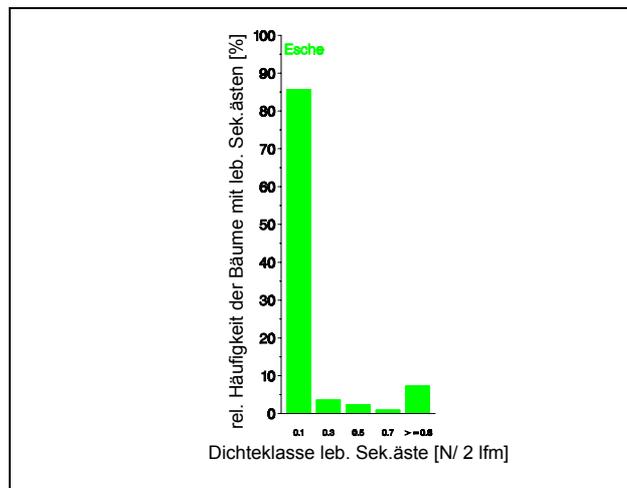


Abbildung 4-33: Relative Häufigkeit von Eschen nach Klassen unterschiedlicher Sekundärastdichte, beispielhafte Darstellung der Häufigkeitsverteilung für lebende Sekundäräste der Länge ≥ 1 m, N = 832, Bestandesbäume.

In einer ersten Betrachtung weisen im **Baumartenvergleich** somit weniger Eschen als Bergahorne lebende Sekundäräste auf. In der Gesamtbetrachtung liegt auch die mittlere Dichte lebender Sekundäräste bis zum Kronenansatz bei Esche niedriger als beim Bergahorn. Zur genaueren Betrachtung der Häufigkeit des Auftretens von lebenden Sekundärästen werden im Folgenden die Bäume nach sozialen Baumklassen, nach Klassen durchschnittlichen Radialzuwachses und nach Klassen relativer Kronenlänge unterteilt und auf Zusammenhänge mit Wachstums- und Dimensionsgrößen überprüft. Die Gesamtzahl der Bäume teilt sich entsprechend den Angaben in Tabelle 4-18: auf die einzelnen Klassen auf.

Tabelle 4-18: Aufgliederung der Eschen und Bergahorne auf soziale Klassen, Klassen durchschnittlichen Radialzuwachses und Klassen relativer Kronenlänge, Bestandesbäume.

Soziale Klasse	Anzahl der Bäume		Klasse durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe	Anzahl der Bäume		Klasse relativer Kronenlänge	Anzahl der Bäume	
	Esche	Bergahorn		Esche	Bergahorn		Esche	Bergahorn
1	224	101	< 2,5 mm [2]	252	235	0 – 32,9% [I]	76	22
2	443	389	2,5 – 3,49 mm [3]	311	259	33 – 65,9 % [II]	548	410
3	165	163	3,5 – 4,49 mm [4]	179	129	66 – 100% [III]	208	221
			≥ 4,5 mm [5]	90	30			

4.6.2 Soziale Baumklasse

Mit sinkender sozialer Klasse nach KRAFT (1884) nimmt sowohl bei Esche wie auch bei Bergahorn die relative Häufigkeit der Bäume mit Sekundärästen zu. Während 15,2 % der Eschen der Kraft'schen Klasse 1 lebende Sekundäräste aufweisen, finden sich in der Klasse 2 bereits 25,1 %. In der Klasse 3 steigt die relative Anzahl auf 29,1 %. Der Unterschied zum Bergahorn ist auffällig. Bereits 23,8 % der vorherrschenden Bergahorne weisen lebende Sekundäräste unterhalb des Kronenansatzes auf. Unter den herrschenden Bäumen steigt die relative Anzahl auf 39,6 % an. In der Kraft'schen Klasse 3 weisen 64,4 % der Bergahorne lebende Sekundäräste auf. Die relative Häufigkeit des Auftretens eines Bergahorns mit Sekundärästen ist damit je nach sozialer Klasse 0,6 bis 1,2 fach so hoch wie die Häufigkeit bei einer Esche. Die Aufgliederung des Zusammenhangs nach Bäumen mit Sekundärästen bis 1 m Länge und über 1 m Meter Länge konnte diese Tendenzen bestätigen. In allen Klassen lagen jeweils über 100 Beobachtungen vor.

Entsprechend dem seltenen Auftreten von Sekundärästen ist die **Dichte der Sekundäräste als Anzahl pro 2 Laufmeter Schaftlänge bis zum Kronenansatz für die einzelnen sozialen Klassen** gering. Mit zunehmend bedrängter Stellung des Einzelbaumes im Bestand nimmt die mittlere Anzahl lebender Sekundäräste/ 2lfm unabhängig von der Längensklasse der Sekundäräste zu (Abbildung 4-34): für Esche von 0,14/ 2 lfm (KRAFT'sche Klasse 1) auf 0,33/ 2 lfm (Soziale Baumklasse 3), beziehungsweise für Bergahorn auf etwas höherem Niveau von 0,24/ 2 lfm (KRAFT'sche Klasse 1) auf 0,65/ 2 lfm (KRAFT'sche Klasse 3) jeweils für die Längensklasse < 1³⁵. Der Trend für lebende Sekundäräste der Längensklasse ≥ 1 weist die gleiche Tendenz auf. Die Unterschiede im Mittelwert zwischen den Kraft'schen Klassen 1 und 2 sind bei beiden Baumarten nicht deutlich ausgeprägt. Die Verteilungen der Einzelwerte in den einzelnen Klassen sind für beide Längensklassen von Sekundärästen signifikant unterschiedlich (Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0,05$). Ein getrennt für Klassenpaare durchgeführter, ebenso verteilungsfreier Test (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$) ergab signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Klassen, wobei von KRAFT'scher Klasse 1 zu 3 eine immer weniger linkssteile

³⁵ Da die Verteilung der Einzelwerte in den einzelnen Klassen sich signifikant ($\alpha = 20\%$) von der Normalverteilung unterschied (vgl. dazu auch Abbildung 4-33:) musste auf die Darstellung von Vertrauensintervallen verzichtet werden.

Verteilung deutlich wurde. Von KRAFT'scher Klasse 1 zu 3 nimmt somit der relative Anteil von Eschen und Bergahornen ohne Wasserreiser ab.

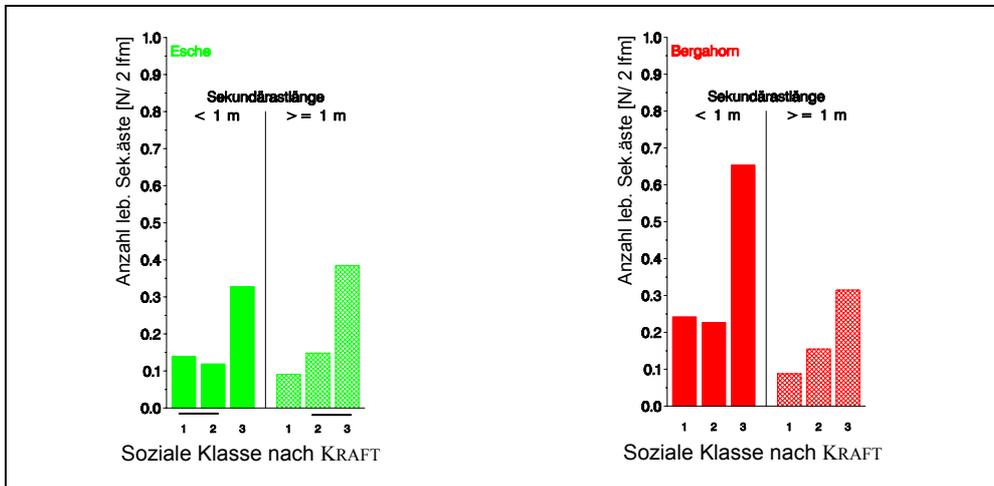


Abbildung 4-34: Sekundärastdichte (< 1 m und \geq 1 m Länge) unterhalb des Kronenansatzes nach sozialen Klassen (KRAFT 1884) für Esche (links) und Bergahorn (rechts). Klassenerläuterung: s. Tabelle 4-18; einzelne Klassen verbindende, horizontale Balken weisen auf nicht signifikante Unterschiede in der Verteilung der Einzelwerte hin (paarweiser Test auf Unterschiede in den Verteilungen, Wilcoxon, $\alpha = 0,05$), Bestandesbäume.

Die Anzahl lebender Sekundäräste pro 2 Laufmeter Schaftlänge weist **im Baumartenvergleich keine ganz eindeutigen Unterschiede** auf. Nach dem vorliegenden Datenmaterial zeigen Eschen eine geringere Dichte der lebenden Sekundäräste < 1 m als Bergahorne. In jeder der drei Klassen konnten im paarweisen Vergleich signifikant unterschiedliche Verteilungen festgestellt werden (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$). In den KRAFT'schen Klassen 1, 2 und 3 liegen bei Eschen eine niedrigere Dichte lebender Sekundäräste < 1 m vor als in der gleichen Klasse des Bergahorn. Dagegen sind baumartspezifische Unterschiede für Sekundäräste der Längensklasse \geq 1 m nicht deutlich erkennbar: beispielsweise besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Baumarten in den Verteilungen für die KRAFT'sche Klasse 1 und 2. Zudem liegt in der KRAFT'schen Klasse 3 die Dichte lebender Sekundäräste bei Esche sogar höher als diejenige der Bergahorne. Damit weist der Bergahorn nur für die lebende Sekundäräste < 1 m eine tendenzielle höhere Sekundärastdichte auf. Ein solcher Unterschied ist jedoch für die Klasse der längeren lebenden Sekundäräste nicht klar erkennbar. Offenbar ist bei beiden Baumarten eine intensive Absterbedynamik im Kollektiv der lebenden Sekundäräste < 1 m vorhanden.

Zusätzlich wurden die Eschen- und Bergahornsolitäre hinsichtlich des Auftretens von Sekundärästen überprüft: **bei keinem der Solitäräume wurden lebende Sekundäräste unterhalb des Kronenansatzes** festgestellt. Die Dichte der lebenden Sekundäräste hatte somit stets den Wert „0“.

4.6.3 Durchschnittlicher Radialzuwachs

Für die folgende Untersuchung wurden die durchschnittlichen Radialzuwächse in Klassen aufgeteilt (zur Klasseneinteilung vgl. Tabelle 4-18:). Während 40,9 % der Eschen der Radialzuwachsklasse 2 lebende Sekundäräste aufweisen, finden sich in der Klasse 3 und 4 nur noch 20,6 % und 11,7 %. In der Klasse 5 fällt die relative Anzahl auf 5,6 %. Der Unterschied zum Bergahorn ist auffällig. Bereits 57,0 % der Bergahorne der Radialzuwachsklasse 2 weisen lebende Sekundäräste unterhalb des Kronenansatzes auf. Unter den Bäumen der Radialzuwachsklassen 3 und 4 fällt die relative Anzahl auf 42,9 % und 24,0 % ab. In der Radialzuwachsklasse 5 weisen 23,3 % der Bergahorne lebende Sekundäräste auf. Zu beachten ist dabei die geringere Belegung für der Klasse 5 mit lediglich 90 Eschen beziehungsweise 30 Bergahornen.

Von Klasse 2 bis auf Klasse 5 sinkt bei Esche **die Anzahl lebender Sekundäräste pro 2 m Schaftlänge bis zum Kronenansatz**. Dies gilt für beide Längenklassen lebender Sekundäräste (Abbildung 4-54)³⁶. Dabei nimmt für die Längenkategorie < 1 m die Sekundärastdichte von 0,25/2 lfm in der Radialzuwachsklasse 2 auf 0,09/2 lfm in der Radialzuwachsklasse 5 ab. Für die Längenkategorie ≥ 1 m sinkt die Sekundärastdichte von 0,44/2 lfm in der Radialzuwachsklasse 2 auf 0,02/2 lfm in der Radialzuwachsklasse 5 ab. Für Esche bestätigte der nichtparameterische Test auf Unterschiede zwischen den Klassen die Unterschiedlichkeit der Verteilungen in den vier Radialzuwachsklassen für beide Längenklassen von Sekundärästen (Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0,05$). Auch die Dichte der Sekundäräste für Bergahorn weist für beide Längenklassen einen Trend für die einzelnen Radialzuwachsklassen auf (Abbildung 4-35:). Verteilungsunterschiede zwischen den Radialzuwachsklassen lassen sich zwar zum Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ nachweisen, die Unterschiede im Mittelwert sind jedoch für die Radialzuwachsklassen nur als Trend erkennbar. Ein getrennt für Klassenpaare durchgeführter, ebenso verteilungsfreier Test (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$) ergab signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Klassen für beide Baumarten, wobei von der Radialzuwachsklasse 2 bis 5 lediglich als Trend eine immer weniger linkssteile Verteilung deutlich wurde. Von der Radialzuwachsklasse 2 hin zu 5 nimmt somit zwar der relative Anteil von Eschen und Bergahornen ohne Wasserreiser ab, im paarweisen Vergleich der Verteilung der Einzelwerte kann jedoch nicht immer auf die Herkunft der Stichproben aus einer unterschiedlichen Grundgesamtheit geschlossen werden. Unterschiedliche Mittelwerte können somit im paarweisen Vergleich nicht immer mit unterschiedlichen Grundgesamtheiten begründet werden.

Im **Baumartenvergleich** fällt die höhere Sekundärastdichte/2 lfm für den Bergahorn insbesondere für die Sekundärastklasse < 1 m auf. In den drei Radialzuwachsklassen 2 bis 4 (außer Vergleichspaar Klasse 5 Esche und 5 Bergahorn) konnten im paarweisen Vergleich signifikant unterschiedliche Verteilungen festgestellt werden (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$). Es kann somit davon ausgegangen werden, dass im vorliegenden Datenmaterial der Anteil Eschen ohne lebende Sekundäräste < 1 m signifikant höher ist als derjenige für Bergahorn. Auch für lebende Sekundäräste der Länge ≥ 1 m Länge ließ sich dies mit Ausnahme des Vergleichspaares Radialzuwachsklasse 2 Esche und 2 Bergahorn bestätigen.

³⁶ Da die Verteilung der Einzelwerte in den einzelnen Klassen sich signifikant ($\alpha = 20$ %) von der Normalverteilung unterschied, musste auch hier auf die Darstellung von Vertrauensintervallen verzichtet werden.

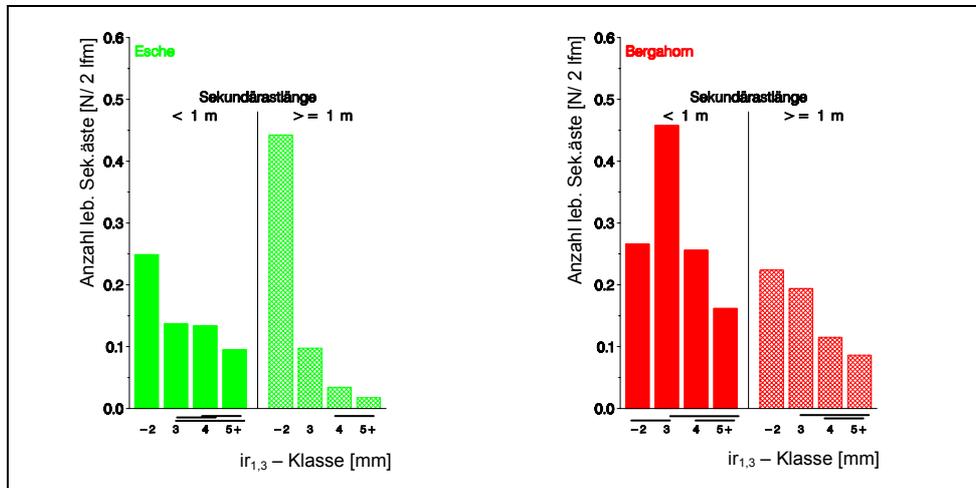


Abbildung 4-35: Sekundärästdichte (< 1 m und ≥ 1 m Länge) unterhalb des Kronenansatzes nach Radialzuwachsklassen für Esche (links) und Bergahorn (rechts); Klassen-erläuterung: s. Tabelle 4-18; einzelne Klassen verbindende, horizontale Balken weisen auf nicht signifikante Unterschiede in der Verteilung der Einzelwerte hin (paarweiser Test auf Unterschiede in den Verteilungen, Wilcoxon, $\alpha = 0,05$), Bestandesbäume.

4.6.4 Relative Kronenlänge

Nach Aufteilung der Bäume nach Klassen verschiedener relativer Kronenlänge wurde auch für diese Dimensionsgröße ein Zusammenhang mit der Dichte der lebenden Sekundäräste/ 2 lfm bis zum Kronenansatz untersucht.

Während 39,5 % der Eschen der Kronenlängenkategorie I lebende Sekundäräste aufweisen, finden sich in der Kategorie II nur noch 26,8 %. In der Kategorie III fällt die relative Anzahl auf 7,7 %. Der Unterschied zum Bergahorn ist auffällig. Bereits 86,4 % der Bergahorne der Kronenlängenkategorie I weisen lebende Sekundäräste unterhalb des Kronenansatzes auf. Unter den Bäumen der Kronenlängenkategorie II fällt die relative Anzahl auf 48,3 % ab. In der Kronenlängenkategorie III weisen 29,9 % der Bergahorne lebende Sekundäräste auf. Zu beachten ist dabei die geringere Belegung für der Kategorie I mit lediglich 76 Eschen beziehungsweise 22 Bergahornen. Da eine niedrige relative Kronenlänge auch eine langes kronenfreies Schaftstück bedeutet und damit implizit auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von lebenden Sekundärästen größer sein muss, wurde auch im folgenden Fall die Anzahl lebender Sekundäräste/ 2 lfm Schaftlänge bis zum Kronenansatz berechnet.

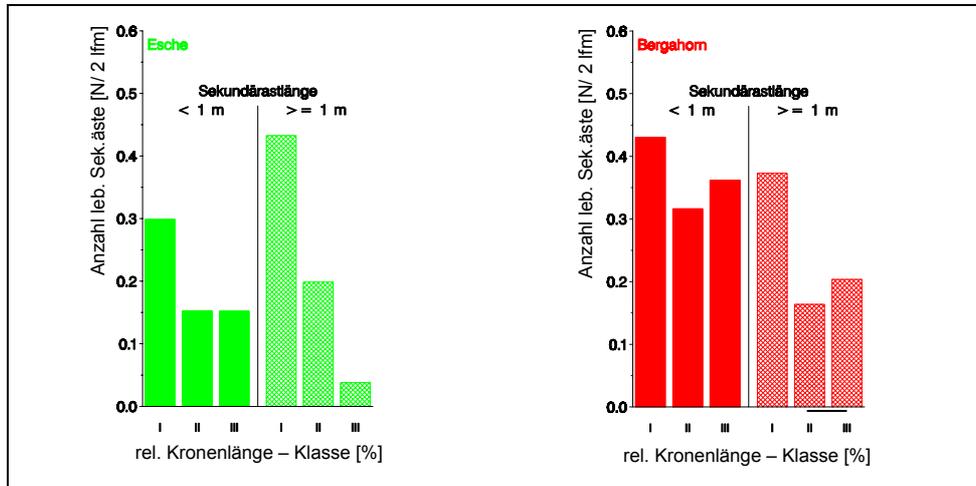


Abbildung 4-36: Sekundärastdichte (< 1 m und ≥ 1 m Länge) unterhalb des Kronenansatzes nach Klassen relativer Kronenlänge für Esche (links) und Bergahorn (rechts), Klassenerläuterung: s. Tabelle 4-19; einzelne Klassen verbindende, horizontale Balken weisen auf nicht signifikante Unterschiede in der Verteilung der Einzelwerte hin (paarweiser Test auf Unterschiede in den Verteilungen, Wilcoxon, $\alpha = 0,05$), Bestandesbäume.

Mit **zunehmender relativer Kronenlänge sinkt zwar die Sekundärastdichte/ 2 lfm Schaftlänge bis zum Kronenansatz** (Abbildung 4-36:). Dieser Trend ist jedoch bei Esche und für Bergahorn für beide Längengruppen der Sekundäräste anhand der Mittelwerte nicht sehr deutlich sichtbar³⁷. Dabei nimmt bei Esche für die Längengruppe < 1 m die mittlere Anzahl lebender Sekundäräste von 0,30/ 2 lfm in der Klasse I der relativen Kronenlänge auf 0,15/ 2 lfm in der Klasse II und III ab. Für die Längengruppe ≥ 1 m sinkt die mittlere Anzahl lebender Sekundäräste von 0,43/ 2 lfm in der Klasse I der relativen Kronenlänge auf 0,04/ 2 lfm in der Klasse III ab. Für Bergahorn ist dieser Trend weniger deutlich. Die mittlere Anzahl lebender Sekundäräste pro 2 Laufmeter Schaftlänge ist für die Klasse III der relativen Kronenlänge höher als der Mittelwert der Klasse II. Die Verteilungen der Einzelwerte in den einzelnen Klassen sind für beide Längengruppen von Sekundärästen signifikant unterschiedlich (Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0,05$). Ein getrennt für Klassenpaare durchgeführter, verteilungsfreier Test (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$) ergab signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Kronenlängengruppen für beide Baumarten, wobei von der Klasse relativer Kronenlänge I bis III lediglich als Trend eine immer weniger linkssteile Verteilung deutlich wurde. Von der Klasse relativer Kronenlänge I hin zur Klasse III nimmt somit zwar der relative Anteil von Eschen und Bergahornen ohne Wasserreiser ab, im paarweisen Vergleich der Verteilung der Einzelwerte kann jedoch nicht immer auf die Herkunft der Stichproben aus einer unterschiedlichen Grundgesamtheit geschlossen werden. Unterschiedliche Mittelwerte können somit im paarweisen Vergleich nicht immer mit unterschiedlichen Grundgesamtheiten begründet werden. Die Variation des Auftretens von

³⁷ Da die Verteilung der Einzelwerte in den einzelnen Klassen sich auch hier signifikant von der Normalverteilung unterschied, musste auf die Darstellung von Vertrauensintervallen verzichtet werden.

lebenden Sekundärästen ist somit für die verschiedenen Klassen relativer Kronenlänge beträchtlich.

Im **Baumartenvergleich** fällt die deutlich höhere Sekundärastdichte/ 2 lfm für den Bergahorn in der Sekundärastklasse < 1 m auf. In allen drei Klassen relativer Kronenlänge konnten im paarweisen Vergleich signifikant unterschiedliche Verteilungen festgestellt werden (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$). Es kann somit davon ausgegangen werden, dass im vorliegenden Datenmaterial der Anteil Eschen ohne lebende Sekundäräste < 1 m signifikant höher ist als derjenige für Bergahorn. Im Baumartenvergleich an Bäumen der Kronenlängenkategorie I und II ist diese Situation für längere Sekundäräste jedoch nicht gegeben. Hier liegt die Sekundärastdichte über derjenigen des Bergahorns. Für die Kronenlängenkategorie II finden sich bei Esche sogar signifikant weniger Bäume ohne lebende Sekundäräste ≥ 1 m. Für längere Sekundäräste kann somit kein klarer baumartenspezifischer Unterschied festgestellt werden.

5 DYNAMIK DES DICKENWACHSTUMS

Die Untersuchungen zum Dickenwachstum gliedern sich in zwei Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird der von SPIECKER (1991) entwickelte Modellansatz zum Zusammenhang zwischen Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser auf seine Eignung für Esche und Bergahorn untersucht. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Einfluss des Standorts sowie den baumartspezifischen Unterschieden zwischen Esche und Bergahorn. Fallbeispiele einzelner Untersuchungsflächen sowie Extremwertvergleiche dienen dabei der Illustration der Wachstumsgesetzmäßigkeiten. Der Verlauf des Radialzuwachses in jährlicher Auflösung erfolgt im anschließenden Abschnitt. Auch hier werden Fallbeispiele verwendet, um Wachstumsreaktionen und noch offene Fragestellungen aufzuzeigen. Am Abschluss jedes der beiden Abschnitte wird den Ergebnissen zum Dickenwachstum von Bestandesbäumen eine parallele Untersuchung zum Wachstum von Solitären gegenübergestellt. Entsprechend den Zielsetzungen der Arbeit gehe ich auf eventuelle baumartspezifische Wachstumsunterschiede zwischen Esche und Bergahorn ein.

5.1 DICKENWACHSTUM UND KRONENBREITE

5.1.1 Modell zur Bestimmung der Kronenbreite

Das Dickenwachstum des Schaftes in 1,3 m Höhe steht in engem Zusammenhang zur Entwicklung der Krone des Baumes. Mit der Beschreibung der Kronenbreite in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und dem Baumalter konnte die Grundlage zur Formulierung der Produktionsziele für den Schaftdurchmesser und die Produktionszeit gelegt werden. Dabei wurde aus modelltheoretischen Überlegungen heraus die Kronenbreite als unabhängige Variable verwendet, auch wenn die assimilatorische Leistung der Baumkrone als ursächliche Größe erst das Dickenwachstum des Schaftes ermöglicht.

Für die Berechnung eines **multiplen, linearen Regressionsmodells zur Kronenbreite** konnten 1501 Eschen und 1021 Bergahorne verwendet werden (Gleichung 5, Kapitel 2.1.2). Der im Vergleich mit den Modellen zur Astreinigung unterschiedliche Datenumfang ergibt sich aus der Tatsache, dass hier alle vier unterschiedlichen Datenquellen verwendet werden konnten (vgl. Kapitel 3). Solitärer Bäume wurden wegen stark abweichendem Wachstumsverhalten nicht in dieses Datenmaterial aufgenommen. Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Dickenwachstum und Kronenexpansion für Solitäre erfolgt in einem eigenen Abschnitt. Der Wertebereich des verwendeten Datenmaterials ist aus Tabelle 5-1: ersichtlich.

Mit der **schrittweisen Regression** konnten für Esche und Bergahorn im Gesamtmodell jeweils 88 % der Streuung der Messwerte erklärt werden (Tabelle 5-2:). Der Zusammenhang zwischen den Variablen ist mit einer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit abgesichert und der Standardfehler der Parameterschätzer ist gering. Der größte Anteil der Streuung der Meßwerte wurde durch den Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe erklärt. Das Baumalter trägt nur noch zu 2 % zur Verringerung der Streuung bei. Eine Interaktion der beiden unabhängigen Variablen konnte weder für Esche noch für Bergahorn als signifikant

bestätigt werden. Die Überprüfung der unabhängigen Variablen auf Kollinearität ergab keinen Hinweis auf übermäßige gegenseitige Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Baumalter (VIF < 5).

Tabelle 5-1: Wertebereiche für Esche und Bergahorn für die einzelnen Variablen des Kronenbreitenmodells, (Esche: N = 1501, Bergahorn: N = 1021), Bestandesbäume.

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Bergahorn
Kronendurchmesser: b_{Kr} [m]	0,43	0,70	19,18	14,95	5,31	5,09	2,970	2,550
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	3,5	3,4	96,5	88,8	28,2	28,2	16,36	15,37
Alter des Baumes: a_B [J]	11	10	205	179	50	54	32,05	32,51

Tabelle 5-2: Ergebnisse der schrittweisen Regression und der Varianzanalyse für Esche und Bergahorn für die einzelnen Variablen des Kronenbreitenmodells (Gleichung 5), *= signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F- bzw. T-Test); Esche: N = 1501, $r^2_{adj.} = 0,88$; Bergahorn: N = 1021, $r^2_{adj.} = 0,88$, Bestandesbäume.

Variable	Parameterschätzer		Standardfehler des Schätzers		Partielles r^2		Variance Inflation Factor	
	Esche Bergahorn	Bergahorn	Esche Bergahorn	Bergahorn	Esche Bergahorn	Bergahorn	Esche Bergahorn	Bergahorn
Interzept	0,698*	0,785*	0,054	0,057	-	-	-	-
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	0,203*	0,183*	0,003	0,003	0,86*	0,87*	3,3	3,5
Alter des Baumes: a_B [J]	-0,022*	-0,016*	0,002	0,002	0,02*	0,01*	3,3	3,5

Die Gegenüberstellung der vorhergesagten mit den gemessenen Werten zeigt eine gute Übereinstimmung (Abbildung 5-1:). Die **Residuen** streuen annähernd gleichmäßig über den unabhängigen Variablen. Da für ein Baumalter über 160 Jahren für die Baumart Esche nur 6 weitere Beobachtungen vorlagen, wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine grafische Darstellung verzichtet. Der überwiegende Teil der Werte liegt innerhalb einer Spreitung von -3 und $+3$ m beidseits der Nulllinie. Die Residuen erfüllen in geringem Maße die Voraussetzung nach Heteroskedastizität nicht. Zur leichteren Vergleichbarkeit der Modellergebnisse und aus Gründen der angestrebten Einfachheit bei der Modellformulierung wurde jedoch auf eine Variablentransformation für beide Baumarten verzichtet. Eine Abweichung der Residuenverteilung von der Normalverteilung entsprechend der in Kapitel 2.7.2 dargestellten Vorgehensweise konnte nicht bestätigt werden.

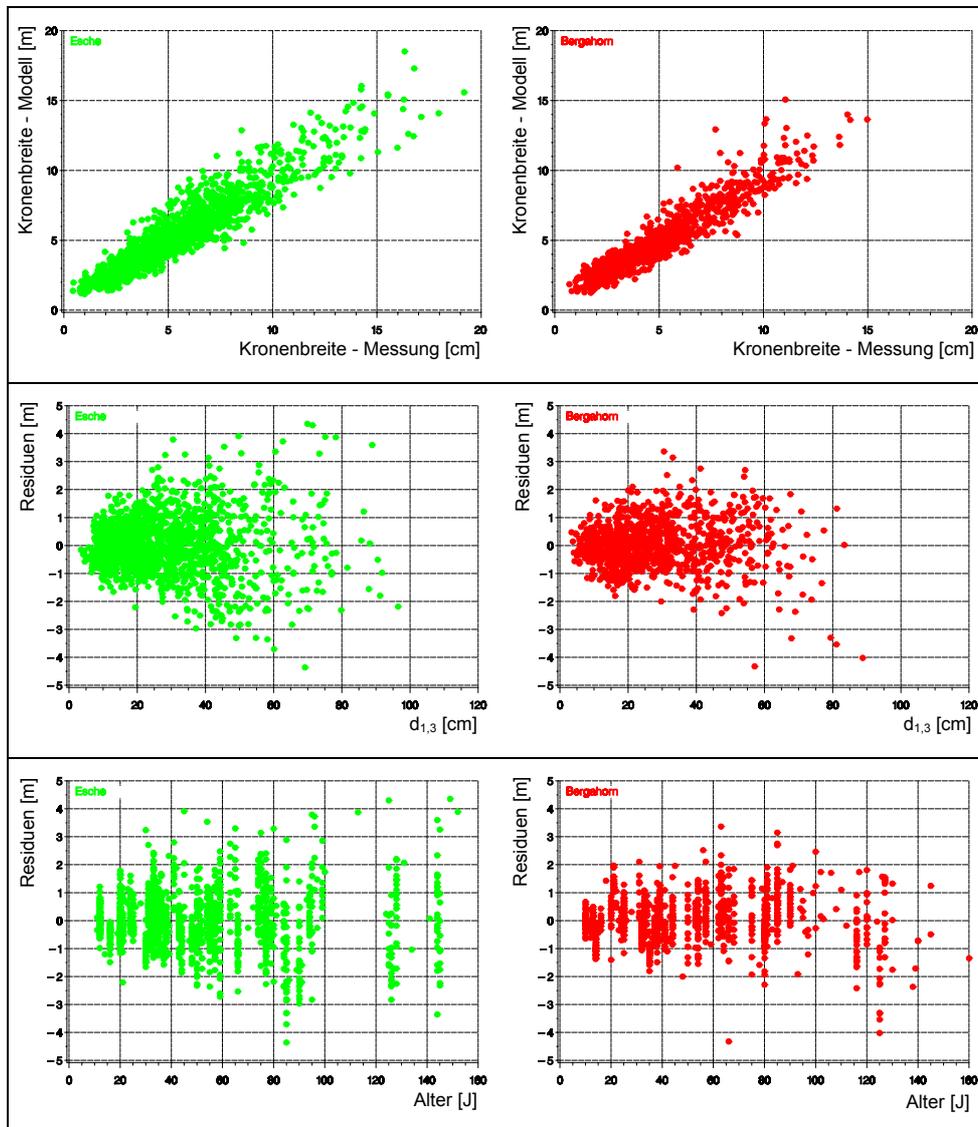


Abbildung 5-1: Gegenüberstellung der gemessenen Werte der Kronenbreite mit den Werten des Modells sowie der Residuen aus dem Kronenbreitenmodell über den zwei unabhängigen Variablen Brusthöhendurchmesser (oben) und Baumalter (unten), (Esche: links, Bergahorn: rechts), Bestandesbäume.

Da es sich bei dem Zusammenhang zwischen Kronenbreite, Brusthöhendurchmesser und Alter um eine unechte Zeitreihe handelt, wurde zur Überprüfung der Autokorrelation die Teststatistik DW berechnet. Sie nimmt einen Wert von 1,02 für Esche sowie 1,19 für Bergahorn an und unterschreitet damit im vereinfachten, zweiseitigen Test den aus den Tabellenwerken geforderten oberen Schwellenwert bei einer beidseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$. Die Variation des Standardfehlers wird deshalb unter-

schätzt, die Vertrauensintervalle werden tendenziell zu eng angenommen und wahre Nullhypothesen früher verworfen. Da jedoch eine gewichtete Regression mit transformierten Variablen nur geringe Unterschiede in den vorhergesagten Werten ergab und zusätzlich die sonstigen Prüfstatistiken eine gute Eignung der originalen Modellformulierung anzeigten, wurde das ursprüngliche Modell beibehalten.

Für Baumalter von über 160 Jahren lagen für beide Baumarten nur noch wenige Einzelwerte vor, deshalb wurde der **Gültigkeitsbereich** des Modells auf diesen Zeitraum begrenzt.

In der Gesamtbetrachtung kann das gewählte lineare, multiple Regressionsmodell als passend zur Vorhersage der Kronenbreite von Esche und Bergahorn anhand der Erklärungsvariablen Brusthöhendurchmesser und Alter des Baumes angesehen werden.

Entsprechend der Modellformulierung nimmt für beide Baumarten mit steigendem Brusthöhendurchmesser auch die Kronenbreite zu. Im Vergleich zweier Bäume gleichen Brusthöhendurchmessers wird jedoch der jüngere die größere Kronenbreite aufweisen. Auch im Baumartenvergleich ergibt sich ein deutlicher Unterschied: bei gleichem Brusthöhendurchmesser weist der Bergahorn kleinere Kronendurchmesser auf. Bei einem Durchmesser des Schaftes in 1,3 m Höhe von 60 cm in 75 Jahren ergibt sich ein baumartspezifischer Unterschied von 0,7 m. Mit einer Baumkrone gleicher Breite kann der Bergahorn demnach einen größeren Brusthöhendurchmesser als eine Esche erreichen. Entsprechend bestätigte sich in der Formulierung des Kronenbreitenmodells mit der Baumart als weiterer unabhängiger Variablen ein signifikanter Einfluss der **Baumart als Covariable** zum Brusthöhendurchmesser. Dabei wies der Bergahorn bei gleichem Baumalter mit steigendem Brusthöhendurchmesser eine zunehmend kleinere Kronenbreite als die Esche auf. Zwar war der Beitrag dieser Interaktion mit dem Brusthöhendurchmesser zur Erklärung der Gesamtstreuung gering ($< 1\%$, $\alpha = 0,05$), jedoch wies der Parameterschätzer der Interaktion auf Einflüsse auf die Kronenbreite in praxisrelevanten Größenordnungen hin.

Unterschiede hinsichtlich Dickenwachstum und Kronenexpansion könnten möglicherweise auch auf Unterschiede im Datenmaterial beider Baumarten zurückzuführen sein. Deshalb wurde zum **direkten Baumartenvergleich** dieser Unterschied an zwei Beständen, die 1968 als Eschen- und Bergahornreinbestand zur Überprüfung von Unterschieden in der baumartenspezifischen Wachstumsdynamik in unmittelbarer räumlicher Nähe zueinander angelegt wurden, in einem Fallbeispiel untersucht³⁸. Der mittlere Brusthöhendurchmesser (Abbildung 5-2:, links) beider Bestände wie auch der Mittelwert des durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$). Auch die mittlere Kronenbreite der Eschen ist zum Zeitpunkt der Aufnahme mit 5,35 m nicht signifikant größer als die der Bergahorne mit 4,64 m (Wilcoxon, $\alpha = 0,05$, Abbildung 5-2:, Mitte). Da jedoch die Bergahorne bei kleinerem mittleren Kronendurchmesser etwas größere Brusthöhendurchmesser als die Eschen aufweisen, konnte für das Ausladungsverhältnis beider Kollektive ($b_{kr}/d_{1,3}$) ein

³⁸ Versuchsflächen des CRPF - Franche-Comté/ Frankreich in Noironte: ES_17 und AH_06. Beide Flächen grenzen mit ca. 20 m Abstand aneinander an und stocken auf gleichem Standort. Die Begründung (2*2,2 m, d.h. 2300 Stk/ha) und Behandlung (Z-Baum orientierte Auslesedurchforstung) beider Bestände erfolgte bislang einheitlich.

signifikanter Unterschied der Mittelwerte nachgewiesen werden (normalverteilte Grundgesamtheit: $p > 0,10$, Varianzgleichheit erfüllt: $p > 0,05$, T-Test, $\alpha = 0,001$) (Abbildung 5-2: rechts). Damit ist unzweifelhaft auf eine unterschiedliche Kronenexpansion beider Baumarten zu schließen. Zusätzlich wurde auch eine Trendanalyse durchgeführt. Der regressionsanalytische Ausgleich der Kronendurchmesser über dem Brusthöhendurchmesser konnte einen signifikanten Unterschied in der Steigung der Ausgleichsgeraden zwischen beiden Baumarten nachweisen. Demnach hat der Bergahorn im Vergleich der beiden Untersuchungsflächen einen zunehmend kleineren Kronendurchmesser als die Esche. Ein Unterschied im Interzept konnte nicht nachgewiesen werden (jeweils $\alpha = 0,05$).

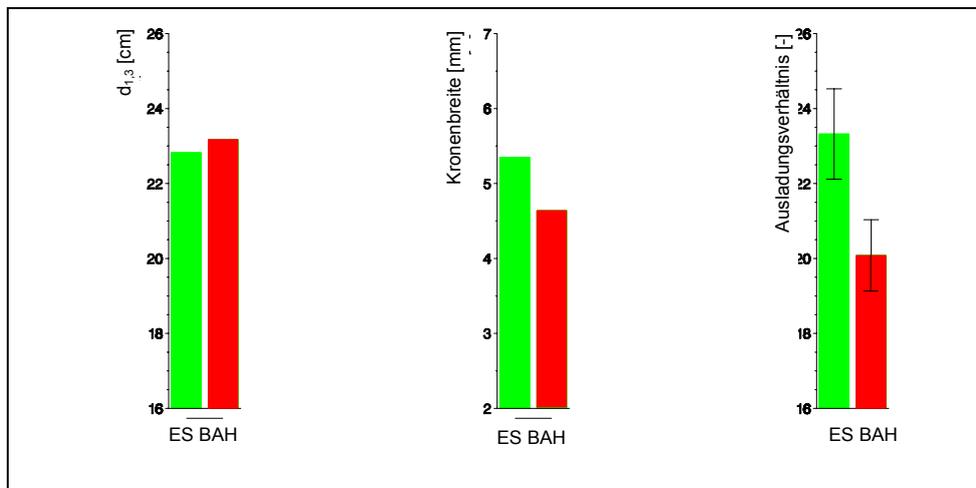


Abbildung 5-2: Vergleich des Brusthöhendurchmessers (links), der Kronenbreite (Mitte), jeweils nicht signifikant, Wilcoxon: $\alpha = 0,05$ und des Ausladungsverhältnisse (rechts, signifikant, T-Test: $\alpha = 0,05$) zweier 33-jähriger Eschen- und Bergahornreinstände (ES_17 und AH_06). Senkrechte Striche: Vertrauensintervall: 95 %, $N = 25$ pro Bestand. Nicht signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) wurden mit einem verbindenden horizontalen Balken gekennzeichnet. Da für Brusthöhendurchmesser und Kronenbreite die Normalverteilungsvoraussetzung nicht erfüllt war, musste auf die Darstellung des 95 %- Vertrauensintervalls verzichtet werden, Bestandesbäume.

Zusätzlich wurde auch das Verhalten der Residuen einzelner Teilkollektive des Datenmaterials auf weitere Einflussfaktoren überprüft. Die **Begründungsart** mit den Ausprägungen "Pflanzung", "Naturverjüngung" und "unbekannt", hat im vorliegenden Datenmaterial keinen nachweisbaren Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Kronenbreite, Brusthöhendurchmesser und Baumalter. Auch die Überprüfung der Residuen des Kronenbreitenmodells nach der Begründungsart ergab keinen gerichteten Trend. Auch die grafische Analyse der Residuen mit der Unterscheidung nach der **Betriebsart** (Hochwald oder Mittelwald) sowie nach den Kategorien **Reinbestand oder Mischbestand** brachten keinen Hinweis auf Fehlschätzungen. Da sich jedoch für die Solitäre grundlegende Unterschiede im Zusammenhang zwischen Dickenwachstum und Kronenexpansion zeigten,

wurde dieses Teilkollektiv für beide Baumarten in einer eigenen Analyse untersucht (Kapitel 5.1.3). Die Untersuchung der Residuen nach **Gruppen von durchschnittlichen Radialzuwächsen** (in Schritten von 1 mm Breite) erbrachte ebenfalls keine gerichtete Fehlschätzung. Auch aus dem Blickpunkt weiterer möglicher Einflussfaktoren heraus scheint das gewählte lineare, multiple Regressionsmodell für Bäume verschiedener Begründung, Betriebsart - ohne Solitäre -, sowie für Rein- und Mischbestände im Rahmen der in Kapitel 2.2 dargelegten Aufnahmemethoden geeignet zur Vorhersage der Kronenbreite.

5.1.2 Standort und Kronenbreite

Durch den Standort geprägte Umweltbedingungen wirken sich auf das Baumwachstum aus. Auch die Kronenexpansion ist diesen Umweltbedingungen ausgesetzt. Der Einfluss des Standorts auf das Höhenwachstum, ist ein in der Einschätzung der Ertragskraft eines Bodens oft gebrauchter Zusammenhang. Inwieweit sich jedoch auch Einflüsse des Standorts auf die horizontale Kronenexpansion, d.h. auf die Veränderungen der Kronenbreite, auswirken, soll im Folgenden untersucht werden.

Das im vorherigen Kapitel dargestellte Kronenbreitenmodell beschreibt die Kronenbreite als Funktion der unabhängigen Variablen Brusthöhendurchmesser und Baumalter. Im Folgenden wird der **Standort als weitere erklärende Variable** der Reststreuung im Kronenbreitenmodell überprüft. Als standortsbeschreibende Variable wurden die Höhenbonitäten entsprechend dem Höhenbonitätsfächer aus Kapitel 4.1.1 verwendet. Für die Esche zeigte sich ein signifikanter ($\alpha = 0,05$) Einfluss der Höhenbonität auf das Kronenbreitenmodell, wobei Bäume geringer Höhenbonität bei gleichem Baumalter eine größere Krone benötigen, um einen bestimmten Brusthöhendurchmesser zu erzielen. Für Bergahorn ließ sich kein signifikanter Einfluss der Höhenbonität auf das Kronenbreitenmodell nachweisen ($\alpha = 0,05$). Der Beitrag der Variablen Höhenbonität zur Minimierung der Gesamtstreuung für Esche betrug jedoch nur 0,001 %. Damit liegt der Betrag unter dem in Kapitel 2.7.2 festgelegten Schwellenwert für die Aufnahme einer weiteren unabhängigen Variablen in ein Regressionsmodell. Zudem war für Eschen mit einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm zwischen der geringsten Höhenbonität von 21 m (60 J) und der höchsten Höhenbonität von 33 m (60 J) nur ein Unterschied in der geschätzten Kronenbreite von 0,35 m zu erwarten. Diese Größenordnung liegt im Bereich der Messungenauigkeit der Kronenablotung und hat in dieser Größenordnung auch nur geringe Bedeutung für die Wachstumssteuerung in der Praxis. Deshalb wurde **auf eine Integration des Standorts in das Kronenbreitenmodell für die Esche verzichtet**.

Zur weiteren Analyse des Standortseinflusses auf das Dickenwachstum und die Kronenbreite wurde ein **Vergleich der Mittelwerte und des Trends des durchschnittlichen Radialzuwachses der jeweils 10 dicksten Bäume für verschiedene Höhenbonitäten** durchgeführt. Die Analyse wurde für die Baumalter 20, 30 und 40 Jahre der durchschnittlichen Radialzuwächse durchgeführt, um einen eventuellen Alterstrend auszuschließen. Für diese Altergruppen wurde der Mittelwert des durchschnittlichen Radialzuwachses berechnet (Tabelle 5-3:).

Tabelle 5-3: Arithmetische Mittelwerte des durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe der jeweils 10 dicksten Bäume der Höhenbonitäten 24 bis 33 für Esche und der Höhenbonitäten 21 bis 30 für Bergahorn, Zellen ohne Trennlinien zeigen nicht signifikante Trends des Radialzuwachses in Abhängigkeit von der Höhenbonität an (vgl. Tabelle 5-4:), Bestandesbäume.

Arithm. Mittelwert des durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe Ø $ir_{1,3}$ [mm]					
Esche					
Baumalter	Höhenbonität 33 m	Höhenbonität 30 m	Höhenbonität 27 m	Höhenbonität 24 m	Höhenbonität 21 m
20 J	5,20	5,01	3,97	-	-
30 J	4,26	4,52	3,69	3,70	-
40 J	4,27	4,82	3,41	3,24	-
Bergahorn					
Baumalter	Höhenbonität 30 m	Höhenbonität 27 m	Höhenbonität 24 m	Höhenbonität 21 m	Höhenbonität 18 m
20 J	4,93	4,70	-	-	-
30 J	3,87	3,64	-	3,38	-
40 J	3,88	2,56	-	4,04	-

Der **Mittelwert** für 20jährige Eschen der Höhenbonität 33 m beträgt 5,20 mm und sinkt bei der Höhenbonität 30 m auf 5,01 mm ab. Auch 20jährige Bergahorne der Höhenbonität 30 m weisen mit 4,93 mm einen höheren Mittelwert des durchschnittlichen Radialzuwachses auf als Bergahorne der Höhenbonität 27 m mit einem Mittelwert von 4,70 mm. Nimmt man diese Mittelwerte zum gegebenen Alter von 20 Jahren und berechnet aus dem Alter den Brusthöhendurchmesser, so ließe sich durch Einsetzen in das Kronenbreitenmodell folgern, dass Eschen und Bergahorne besserer Standorte eine größere maximal erreichbare Kronenbreite als Eschen und Bergahorne schlechterer Standorte aufweisen: für Esche beispielsweise errechnet sich eine Kronenbreite von 4,5 m für die Höhenbonität 33 m gegenüber 4,3 m für die Höhenbonität 30 m; für Bergahorn ergibt sich eine Kronenbreite von 4,1 m für die Höhenbonität 30 m gegenüber 3,9 m für die Höhenbonität 27 m. Beim Vergleich der Mittelwerte des durchschnittlichen Radialzuwachses der Altersgruppen von 30 und 40 Jahren wird jedoch ersichtlich, dass bei beiden Baumarten nicht immer mit zunehmender Höhenbonität auch ansteigende Mittelwerte zu finden sind: z. B. 30jährige Eschen der Höhenbonität 33 m mit einem Mittelwert von 4,26 mm gegenüber einem Mittelwert von 4,52 mm bei einer Höhenbonität von 30 m. Aus diesem Grund wurde eine **Trendanalyse** der Einzelwerte des durchschnittlichen Radialzuwachses in Abhängigkeit von der Höhenbonität durchgeführt. Abbildung 5-3: zeigt beispielhaft für 20jährige Eschen- und Bergahorne die Streuung der Einzelwerte. Es wird die große Streuung der einzelnen durchschnittlichen Radialzuwächse sichtbar.

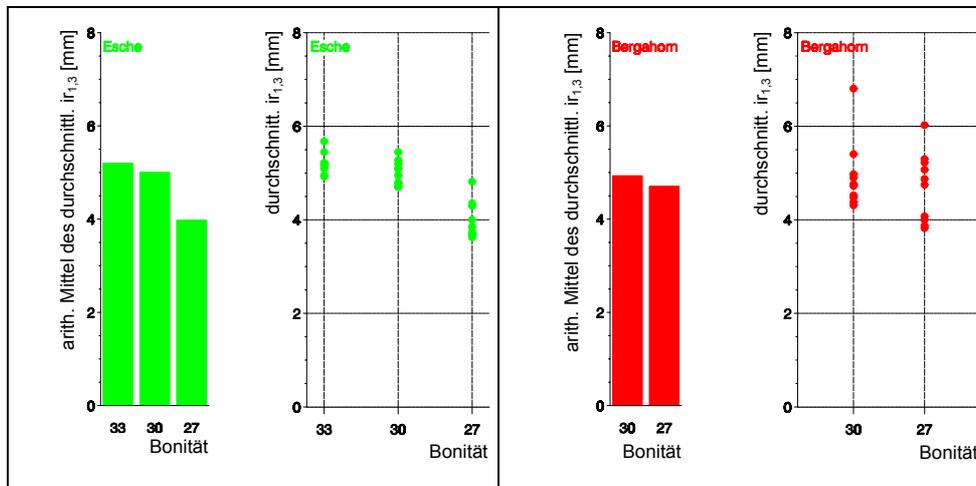


Abbildung 5-3: Vergleich der arithm. Mittelwerte und Einzelwerte des durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe der jeweils 10 dicksten Bäume der Höhenbonitäten 27, 30 und 33 für Esche – links, sowie der Höhenbonitäten 27 und 30 für Bergahorn – rechts. Beispielhafte Darstellung für Bäume des Alters 20 Jahre, Bestandesbäume.

Mit der Trendanalyse konnten bei Esche für alle Altersstufen mit zunehmender Bonität signifikant ansteigende Radialzuwächse nachgewiesen werden ($\alpha = 0,05$), (Tabelle 5-4:). Die Schlussfolgerung, wonach mit zunehmender Höhenbonität der maximal erreichbare durchschnittliche Radialzuwachs bei gleichem Alter ansteigt, ist somit für die Eschen zulässig.

Tabelle 5-4: Ergebnisse der Trendanalyse des durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe der jeweils 10 dicksten Bäume für die Höhenbonitäten 24 bis 33 (Esche) und für die Höhenbonitäten 21 bis 30 (Bergahorn), Bestandesbäume.

Esche				
Baumalter	$ir = f(\text{Höhenbonität})$	Bestimmtheitsmaß $r^2_{\text{adj.}}$	Prob>F	Prob>T-Wert des Steigungsschätzers
20 J	$0,158 \cdot x$	0,99	0,0001	0,0001
30 J	$1,629 + 0,085 \cdot x$	0,27	0,0003	0,0003
40 J	$0,138 \cdot x$	0,98	0,0001	0,0001
Bergahorn				
Baumalter	$ir = f(\text{Höhenbonität})$	Bestimmtheitsmaß $r^2_{\text{adj.}}$	Prob>F	Prob>T-Wert des Steigungsschätzers
20 J	$2,684 + 0,075 \cdot x$	-0,03	0,50	0,50
30 J	$2,268 + 0,052 \cdot x$	0,06	0,11	0,11
40 J	$4,521 - 0,027 \cdot x$	0,03	0,19	0,19

Bei Bergahorn ist jedoch für keine Altersklasse ein signifikanter Trend gegeben. Eine Betrachtung der Einzelwerte nach ihrer Herkunft aus einer der Untersuchungsflächen machte deutlich, dass für einzelne Höhenbonitäten Gruppen von Bäumen vorhanden waren,

die bislang einer sehr starken, gezielten Freistellung des Bewirtschafters unterworfen waren. Damit wird deutlich, dass Behandlungseffekte eventuelle Standorteinflüsse überlagern können. Ein möglicher Standorteinfluss an sich kann somit auch für den Bergahorn nicht ausgeschlossen werden. Die Variabilität des durchschnittlichen Radialzuwachses unabhängig von der Höhenbonität kann auch als Hinweis darauf gelten, dass weitgehend **unabhängig von der Höhenbonität das Dickenwachstum innerhalb weiter Grenzen steuerbar** ist.

Zusammenfassend ergibt sich damit für die Eschen der Hinweis, dass **die in einem bestimmten Alter maximal erreichbare Kronenbreite auf besseren Standorten größer ist als auf schlechteren Standorten. Das Ergebnis aus dem Kronenbreitenmodell bleibt jedoch weiterhin gültig: Eschen und Bergahorne mit gleicher Kronenbreite weisen denselben durchschnittlichen Radialzuwachs auf.** Der hier durchgeführte Extremwertvergleich macht jedoch den Standort als weitere die Kronenexpansion beeinflussende Variable deutlich. Die hier vorgefundenen Zusammenhänge zum maximal erreichbaren Radialzuwachs und daraus abgeleitet zur maximal erreichbaren Kronenbreite repräsentieren jedoch ausschließlich das vorliegende Datenmaterial und sind deshalb als Fallstudie für die Baumarten Bergahorn und Esche gekennzeichnet. Sie können deshalb lediglich als Indikatoren für diese Wachstumszusammenhänge gewertet werden.

5.1.3 Dickenwachstum und Kronenbreite von Solitären

Mit dem Kronenbreitenmodell für Bestandesbäume konnte nur eine unbefriedigende Vorhersage der Kronenbreite der Eschen und Bergahornsolitäre erreicht werden. Über die gesamte Brusthöhendurchmesserspreitung der Solitäre beider Baumarten wurde die Kronenbreite der Solitäre systematisch unterschätzt. Mit steigenden Brusthöhendurchmesser stieg die Unterschätzung einheitlich für beide Baumarten bis auf durchschnittlich 2,5 m bei einem Brusthöhendurchmesser von 50 bis 70 cm an. Die maximale Unterschätzung lag beispielsweise für Esche bei 4,2 m. Auch mit der Anwendung des Kronenbreitenmodells in seiner linearen Formulierung ausschließlich auf die 42 Eschen- und 32 Bergahornsolitäre ergaben sich deutliche Fehlschätzungen der Kronenbreite. Für den Bereich ab einem Brusthöhendurchmesser von 80 cm konnte das lineare, multiple Kronenbreitenmodell das leichte Abflachen der Punktwolke nicht mehr ausreichend nachzeichnen. Eine Anpassung des linearen, multiplen Kronenbreitenmodells für Solitäre war jeweils nur in Teilabschnitten des gesamten Kurvenverlaufs möglich. Die Betrachtung von Dickenwachstum und Kronenexpansion bei Solitären musste daher in einem separaten Modell erfolgen³⁹. Der Wertebereich der im Kronenbreitenmodell für Solitäre verwendeten Variablen ist der Tabelle 5-5: zu entnehmen. Insgesamt standen 42 Eschen- und 32 Bergahornsolitäre zur Verfügung.

³⁹ Die unbefriedigende Anpassung des Kronenbreitenmodells von Bestandesbäumen an Eschen- oder Bergahornsolitäre ist dabei nicht darauf zurückzuführen, dass Solitäre sich immer durch einen hohen durchschnittlichen Radialzuwachs auszeichnen. Die Anpassung des Kronenbreitenmodells war für alle Radialzuwachsklassen von Bestandesbäumen in gleichem Maße gut (vgl. Kapitel 5.1.3). Solitäre hatten außerdem durchschnittliche Radialzuwächse von 1,5 bis 8,3 mm (Bsp. Esche). Vielmehr ist die unbefriedigende Anpassung ausschließlich auf die Eigenschaft „konkurrenzfreies Wachstum“ zurückzuführen. Damit zeigt sich, dass das Dickenwachstum des Schaftes bei Solitären tatsächlich gegenüber der Kronenbreitenentwicklung zurückbleibt.

Tabelle 5-5: Wertebereiche für Esche und Bergahorn für die einzelnen Variablen des Kronenbreitenmodells für Solitäre, (Esche: N = 42, Bergahorn: N = 32).

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn
Kronendurchmesser: b_{Kr} [m]	0,87	0,58	20,31	22,58	9,69	9,28	4,780	4,870
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	3,5	2,0	102,5	132,0	40,9	43,4	22,74	29,04

Zur modellhaften Darstellung des Zusammenhangs zwischen Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser wurde deshalb ein weiteres Modell am vorliegenden Datenmaterial überprüft. Nach **Logarithmierung der Kronenbreite als abhängiger und des Brusthöhendurchmessers als unabhängiger Variablen** konnte ein passendes, einfaches lineares Regressionsmodell gefunden werden. Mit der schrittweisen Regression konnten für Esche und Bergahorn im Gesamtmodell 98 % der Streuung der Messwerte erklärt werden (Tabelle 5-6:). Der Zusammenhang zwischen den Variablen sowie die Parameterschätzer sind mit einer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit abgesichert ($\alpha = 0,0001$). Der Standardfehler der Parameterschätzer ist gering. Die **Gültigkeitsgrenzen** des Kronenbreitenmodells für Solitäre entsprechen dem Wertebereich.

Tabelle 5-6: Ergebnisse der Regression und der Varianzanalyse für Esche und Bergahorn für die einzelnen Variablen des Kronenbreitenmodells für Solitäre, *= signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F- bzw. T-Test); Esche: N = 42, $r^2_{adj.} = 0,98$; Bergahorn: N = 32, $r^2_{adj.} = 0,98$, $\ln(b_{Kr}) = f(\ln(d_{1,3}))$.

Variable	Parameterschätzer		Standardfehler des Schätzers		Bestimmtheitsmaß r^2	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	-1,119*	-0,844*	0,080	0,086	-	-
$\ln(\text{Schaftdurchmesser in } 1,3 \text{ m Höhe: } \ln(d_{1,3}) \text{ [cm]})$	0,918*	0,826*	0,022	0,024	0,98*	0,98*

Abbildung 5-4: zeigt die Kronenbreite über dem Brusthöhendurchmesser für Eschen- und Bergahornsolitäre. Bei beiden Baumarten nimmt mit steigendem Brusthöhendurchmesser die Kronenbreite zu. Für Eschensolitäre mit 60 cm Brusthöhendurchmesser ist eine geschätzte Kronenbreite von 14,0 m zu erwarten. Bei gleichem Brusthöhendurchmesser weist der Bergahorn um 1,1 m kleinere Kronendurchmesser auf. Der Einfluss der zusätzlichen Variablen Baumart auf die Kronenbreite konnte jedoch nicht als signifikant bestätigt werden ($\alpha = 0,05$). Bei einer Baumkrone gleicher Breite weisen Bergahornsolitäre somit zwar einen größeren Brusthöhendurchmesser als Eschensolitäre auf, eine Signifikanz dieses

Trends ist jedoch am vorliegenden Datenmaterial mit der verwendeten Methode nicht nachzuweisen.

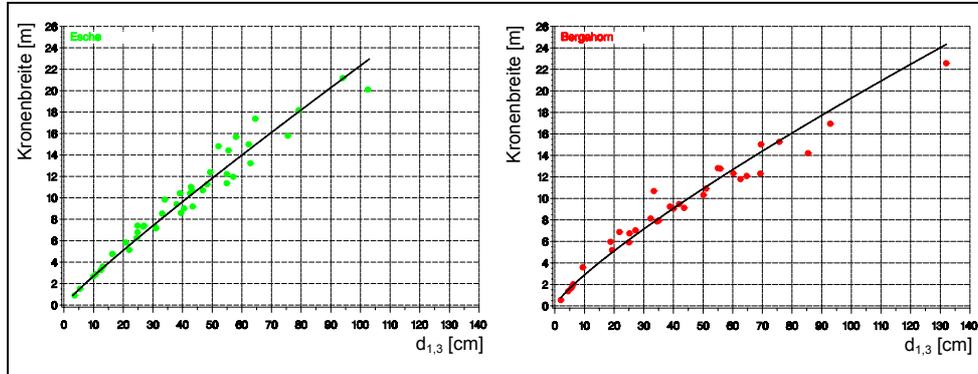


Abbildung 5-4: Darstellung der Kronenbreite über dem Brusthöhendurchmesser von Solitären; Esche: links, Bergahorn: rechts, jeweils mit den aus dem Kronenbreitenmodell für Solitäre vorhergesagten Werten.

Bei der Vermessung der Solitäre fielen die im Vergleich zu Bäumen geringen Brusthöhendurchmessers abgeflachten Kronen der dicken Solitäre auf. Deshalb wurde für jeden Solitär der **Plumpheitsgrad als Relation von Kronenbreite zu Kronenlänge** berechnet. Bei der Betrachtung des gesamten Datenmaterials konnte ein Trend des Plumpheitsgrads in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser und damit eine Veränderung der Kronenform nachgewiesen werden (Abbildung 5-5:).

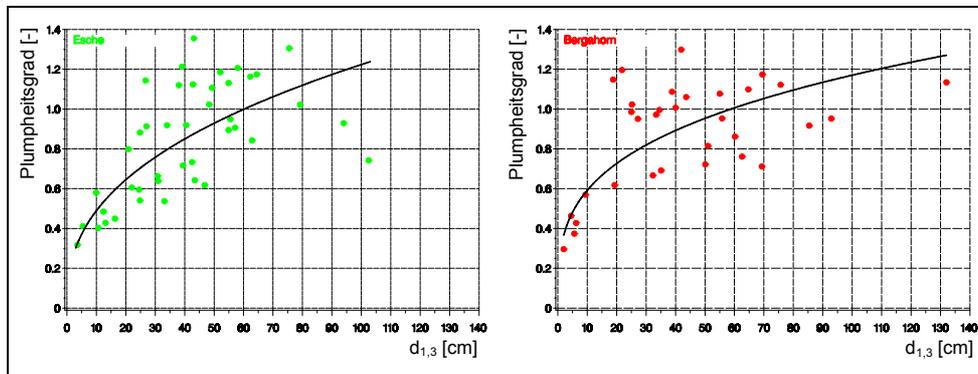


Abbildung 5-5: Kronenexpansion und Kronenform: Verlauf des Plumpheitsgrads von Eschen- (oben) und Bergahornsolitären (unten) über dem Brusthöhendurchmesser, jeweils mit den aus dem Modell vorhergesagten Werten.

Spitze Kronen (z.B. Plumpheitsgrad von 0,5) mit kleinem Brusthöhendurchmesser finden sich bei Bäumen geringen Brusthöhendurchmessers, zunehmend stumpfe Kronen mit Plumpheitsgraden von 0,70 bis 1,35 eher bei Solitären höheren Brusthöhendurchmessers. Die Schwankungen des Plumpheitsgrads sind jedoch beträchtlich. Kronen mit Plumpheits-

graden von 2, entsprechend der Form einer Halbkugel, wurden nicht beobachtet. Nach **Logarithmierung des Plumpheitsgrades als abhängiger und des Brusthöhendurchmessers als unabhängiger Variablen** konnte ein einfaches Modell zur Entwicklung des Plumpheitsgrades berechnet werden. Die **Gültigkeitsgrenzen** des Modells sind der Tabelle 5-7: zu entnehmen.

Tabelle 5-7: Gültigkeitsbereiche für Esche und Bergahorn des Modells für die Entwicklung des Plumpheitsgrades von Solitären, (Esche: N = 42, Bergahorn: N = 32).

Variable	Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn	Esche/ Bergahorn
Plumpheitsgrad: [-]	0,31	0,31	1,35	1,30	0,83	0,88	0,281	0,261
Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: $d_{1,3}$ [cm]	3,5	2,0	102,5	132,0	40,9	43,4	22,74	29,04

Mit der schrittweisen Regression konnten für Esche und Bergahorn im Gesamtmodell 59 % der Gesamtstreuung erklärt werden (Tabelle 5-8:). Der Zusammenhang zwischen den Variablen sowie die Parameterschätzer sind mit einer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit abgesichert. Der Standardfehler der Parameterschätzer ist gering.

Tabelle 5-8: Ergebnisse der Regression und der Varianzanalyse für Esche und Bergahorn Modells für die Entwicklung des Plumpheitsgrades von Solitären, *= signifikant zum Niveau $\alpha = 0,0001$ (F- bzw. T-Test), Esche: N = 42, $r^2_{adj.} = 0,59$; Bergahorn: N = 32, $r^2_{adj.} = 0,59$, $\ln(\text{Plumpheitsgrad}) = f(\ln(d_{1,3}))$.

Variable	Parameterschätzer		Standardfehler des Schätzers		Bestimmtheitsmaß r^2	
	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn	Esche	Bergahorn
Interzept	-1,631*	-1,206*	0,185	0,157	-	-
$\ln(\text{Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe: } \ln(d_{1,3}) [\text{cm}])$	0,398*	0,296*	0,052	0,044	0,60* 0,59*(adj.)	0,60* 0,59*(adj.)

Damit kann eine signifikante Veränderung der Kronen von Eschen- und Bergahorn-solitären in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser nachgewiesen werden. Mit zunehmendem Brusthöhendurchmesser flachen die Kronen der Eschen- und Bergahorn-solitäre ab. Bei der einzelbaumweisen Betrachtung müssen jedoch beträchtliche Variationen des Plumpheitsgrads berücksichtigt werden.

5.2 JÄHRLICHER RADIALZUWACHS UND JAHRRINGBREITE

5.2.1 Jährlicher Radialzuwachs und weitständige Erziehung

Ausgehend von der Betrachtung des Dickenwachstums im Zusammenhang mit der Kronenexpansion soll im Folgenden der Verlauf des jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite isoliert betrachtet werden. Dabei werden verschiedene Einflussfaktoren wie weitständige Erziehung, die Zuwachsreaktion nach Freistellung, das Dickenwachstum in Abhängigkeit von der sozialen Klasse sowie der Radialzuwachs und die Jahrringbreite von Solitären untersucht.

Das Dickenwachstum wird maßgeblich durch die Kronengröße bestimmt. Da die Kronengröße durch die individuelle Konkurrenzsituation eines Einzelbaumes beeinflusst wird, ist es von großem Interesse, **die Auswirkung verschieden weitständiger Erziehung auf das Dickenwachstum** zu untersuchen. Dazu wurden zwei vorherrschende Bäume aus zwei Untersuchungsflächen mit sehr unterschiedlicher Bestandesdichte einer eingehenden Analyse des Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe unterzogen⁴⁰. Mit der Konzentration auf vorherrschende Bäume sollte ein weiterer Einflussfaktor wie das Zurücksetzen sozial niedrigstehender Bäume infolge von Konkurrenzwirkungen vermieden werden. Beide Bestände wurden 1990 mit jeweils zweijährigen Eschen im Verband 4,5 x 4 m d.h. mit 555 Eschen/ ha beziehungsweise mit 4,5 x 4 m (555/ ha) Eschen und zusätzlich mit 2,25 x 2,0 m (1665/ ha) Schwarzerlen in Bestockung gebracht. Zum Zeitpunkt der Messung (1999) war auf der Fläche mit geringer Pflanzzahl noch kein Kronenschluss erreicht, während auf der dicht bestockten Fläche schon intensive Konkurrenz und die Astreinigung begonnen hatte. Entnahmen von Einzelbäumen in Zuge von Pflegeeingriffen hatten zu diesem Zeitpunkt noch nicht stattgefunden. In der Darstellung über dem Kalenderjahr zeigen die Radialzuwächse zunächst eine parallele Entwicklung (Abbildung 5-6:). Bis zum Jahr 1994 schlagen sich die durch die verschiedenen Pflanzverbände bedingten Unterschiede in der Bestandesdichte offensichtlich noch nicht nieder. Danach werden Differenzen im jährlichen Radialzuwachs deutlich sichtbar. Während die bislang noch ohne seitlichen Konkurrenzdruck erwachsenen Eschen jährliche Radialzuwächse von 5,0 bis 9,5 mm erzielen, erreichen die im Verband mit den Schwarzerlen wachsenden Eschen lediglich jährliche Radialzuwächse von 4,0 bis 7,0 mm. Angesichts des kurzen Beobachtungszeitraums und der geringen Anzahl der Beobachtungen muss jedoch auf die Vorläufigkeit der Ergebnisse hingewiesen werden. Auch mögliche Interaktionen der Bestockungsdichte mit Witterungsbedingungen im jeweiligen Jahr müssen berücksichtigt werden.

⁴⁰ Untersuchungsflächen ES_09 und ES_10, die als Versuchsflächen des CRPF - Franche-Comté/ Frankreich in Noiron angelegt wurden.

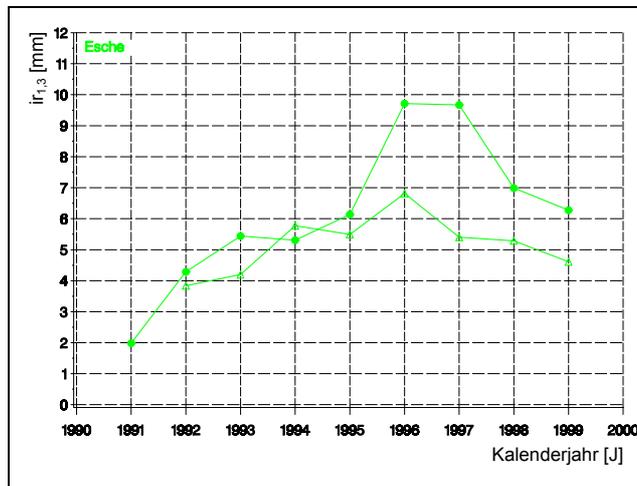


Abbildung 5-6: Verlauf des jährlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe von zwei vorherrschenden Bäumen aus unterschiedlicher Bestandesdichte (Untersuchungsflächen ES_09 und ES_10, Esche). Signaturen: **Dreieck:** Pflanzverband (1990) 4,5 x 4,0 m Esche; **Punkt:** Pflanzverband (1990) 4,5 x 4,0 m Esche und 2,25 x 2,0 m Schwarzerle.

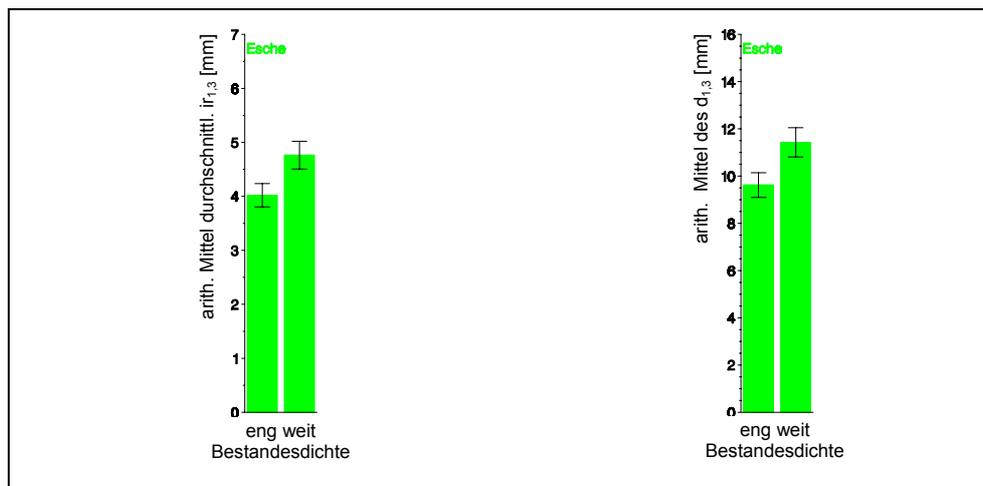


Abbildung 5-7: Vergleich der arithm. Mittelwerte des durchschnittlichen Radialzuwachses (links) und des durchschnittlichen Brusthöhendurchmessers (rechts) von jeweils 25 Bäumen aus unterschiedlicher Bestandesdichte (Untersuchungsflächen ES_09/eng und ES_10/weit, Esche, Pflanzung: 1990). Die Unterschiede sind jeweils signifikant ($\alpha = 0,05$). Die vertikalen Balken je Säule stellen das 95% - Vertrauensintervall dar.

Trotz des auf annähernd gleichem Niveau verlaufenden jährlichen Radialzuwachses der beiden gefällten Bäume in den ersten Jahren nach der Pflanzung lässt sich für den Mittelwert der durchschnittlichen Radialzuwächse in 1,3 m Schafthöhe der je 25 auf beiden

Untersuchungsflächen gemessenen Bäume bereits 10 Jahre nach der Bestandesbegründung ein signifikanter Unterschied nachweisen (Abbildung 5-7:). Auch Unterschiede im Brusthöhdurchmesser ließen sich als signifikant bestätigen (jeweils T-Test bei normalverteilten Werten und Gleichheit der Varianzen, $\alpha = 0,0001$) (Abbildung 5-7:).

Damit wird deutlich, dass schon kurz nach der Begründung eines Bestandes Unterschiede im Dickenzuwachs aufgrund verschiedener Bestockungsdichte nachgewiesen werden können.

5.2.2 Jährlicher Radialzuwachs und soziale Baumklasse

Die Konkurrenz zwischen Baumindividuen eines Bestandes führt über die Veränderung von Kronendimensionen auch zu unterschiedlichem Dickenwachstum. Bäume unterschiedlicher sozialer Rangordnung lassen sich aus diesem Grund sowohl durch Unterschiede in der Kronendimension als auch im Schaftdurchmesser erkennen. Da für die Auswahl von zu fördernden Wertträgern die Vitalität und damit auch die soziale Klasse eines Baumes eine Rolle spielt, ist es sinnvoll, Unterschiede im Dickenwachstum kenntlich zu machen.

Am **Beispiel des Bergahorns** sollen diese Unterschiede deutlich gemacht werden. Aus einem bislang sehr schwach durchforsteten Bergahornreinbestand wurde der Radialzuwachs eines vorherrschenden (soziale Klasse 1 - KRAFT) und eines mitherrschenden (soziale Klasse 3 - KRAFT) Baumes untersucht (Abbildung 5-8:).

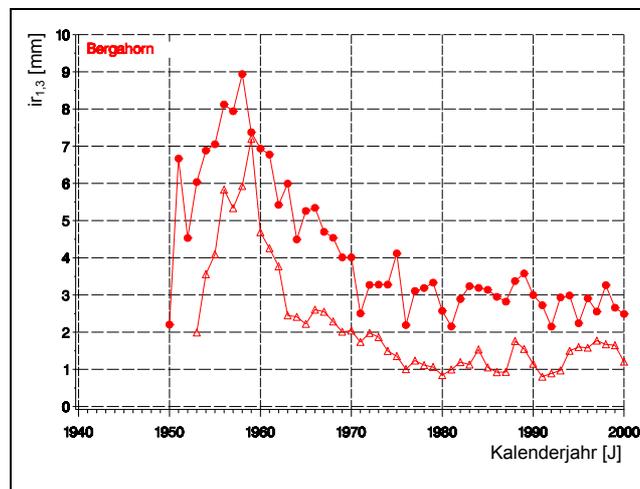


Abbildung 5-8: Verlauf des jährlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe von zwei Bergahornen unterschiedlicher sozialer Klasse (Untersuchungsfläche AH₁₃, Bergahorn).
Signaturen: **Punkt:** soziale Klasse 1 (KRAFT); **Dreieck:** soziale Klasse 3 (KRAFT).

Die Radialzuwachsverläufe in 1,3 m Schafthöhe weisen über dem Kalenderjahr eine gleichläufige Entwicklung auf. Nach einer Phase hohen Radialzuwachses nach der Bestandesbegründung sinken die Radialzuwächse beider Bäume deutlich ab. Dieser Trend ist unabhängig von der sozialen Klasse zu beobachten. Zwischen beiden Bäumen zeigen

sich jedoch beträchtliche Unterschiede hinsichtlich des Zuwachsniveaus. Sowohl in der Phase des hohen Radialzuwachses wie auch danach reicht der Dickenzuwachs des Baumes der niedrigeren sozialen Klasse nicht an das Zuwachsniveaus des vorherrschenden Baumes heran. Zum Zeitpunkt der Messung hatten die beiden Bergahorne Brusthöhendurchmesser von 45,0 beziehungsweise 22,8 cm. Die soziale Rangordnung zeigt sich in ihren Auswirkungen auf das Wachstum somit sehr deutlich. Dies kann für eine zielgerichtete Wachstumssteuerung nutzbar gemacht werden.

5.2.3 Jährlicher Radialzuwachs und Jahrringbreite von Solitären

Mit dem Dickenwachstum von Solitären lassen sich **Grenzwerte des Wachstums** ermitteln. Mit dem Wachstum ohne den Konkurrenzinfluss benachbarter Bestandesglieder stellt der Baum das baumindividuelle und standortsspezifische Wachstumspotenzial dar. Im Folgenden werden der jährliche Radialzuwachs und die Jahrringbreite von Eschen- und Bergahornsolitären untersucht. Dabei werden zunächst baumindividuelle Zuwachsunterschiede von gleichaltrigen Eschen auf gleichem Standort dargestellt. Danach folgt für beide Baumarten eine Analyse des Dickenwachstums von Solitären auf drei unterschiedlichen Standortgruppen. Eine Untersuchung des altersspezifischen Zuwachsverlaufs schließt die Analyse zum jährlichen Radialzuwachs und Jahrringbreite von Solitären ab.

Für die folgenden Auswertungen standen jährliche Radialzuwächse und Jahrringbreiten von 40 Eschen- und 28 Bergahornsolitären zur Verfügung. Da meist aus landschaftspflegerischen Gründen nur bei wenigen solitär erwachsenen Bäumen eine Entnahme von **Stammscheiben** möglich war, wurden **Bohrkerne** zur Ermittlung der Jahrringbreiten verwendet. Die zwei Datenquellen werden in den folgenden grafischen Darstellungen zur besseren Unterscheidung mit zwei verschiedenen Signaturen getrennt gekennzeichnet.

Das Durchmesserwachstum von Solitären wird auch von baumindividuellen Gegebenheiten wie der **Pflanzungsqualität, der Vitalität des Baumes oder seiner genetischen Struktur** beeinflusst. Abbildung 5-9: zeigt dazu die Jahrringbreiten in 1,3 m Schafthöhe von 5 Eschensolitären.

Diese Bäume wurden im Umkreis von 100 m Entfernung voneinander auf gleichem Standort gepflanzt⁴¹. Nach der Pflanzung als Großpflanzen ist zunächst eine Wuchsdepression über durchschnittlich 5 Jahre zu beobachten. Danach steigt die Jahrringbreite auf ein sehr hohes Niveau von 4,5 bis 12,1 mm an. Nach Ende der Anwuchsphase ist ein weitgehend synchroner Verlauf der Jahrringbreite zu beobachten. Da für die 5 Solitäre ein weitgehend homogener Standort anzunehmen ist, können Unterschiede in der Jahrringbreite im Wesentlichen auf die baumindividuelle Konstitution und Vitalität zurückzuführen sein. Auffallend ist auch, dass über einen Zeitraum von 20 Jahren kein Abfallen der Jahrringbreite zu beobachten ist, wie dies beispielsweise als Alterstrend erwartet werden könnte. Die jährlichen Schwankungen der Jahrringbreite sind beträchtlich.

⁴¹ Aufnahmeflächen S_ES_25 bis S_ES_29, Flevopolder/ Harderwijk – Niederlande: Bepflanzung einer Übergangsfläche zum Wald mit Eschensolitären. Zuvor flächige Bodenbearbeitung durch Tiefpflügung und Drainage des ehemaligen Marschbodens.

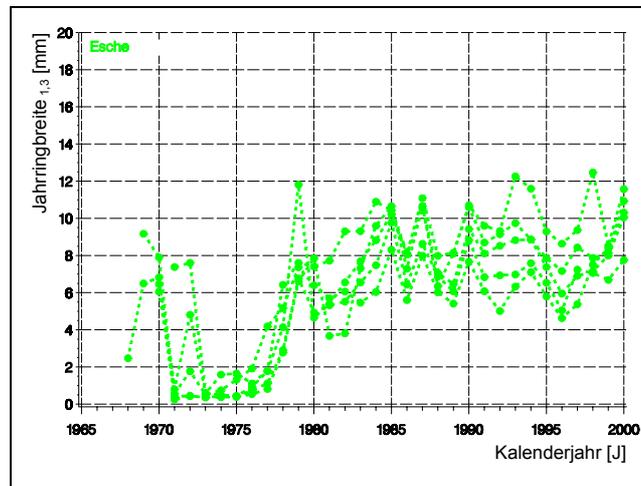


Abbildung 5-9: Verlauf der Jahrringbreite in 1,3 m Schafthöhe von fünf Eschen-solitären (Untersuchungsflächen S_ES_25 bis S_ES_29).

Zur **Überprüfung der Standortsabhängigkeit des Dickenwachstums von Solitären**, wurden die Solitäre nach ihrer Herkunft von Standorten verschiedener Güte gruppiert. Dazu wurden die Standorte anhand der Standortbeschreibungen zum Aufnahmezeitpunkt in drei Gruppen „überdurchschnittlich“, „mittel“ und „unterdurchschnittlich“ aufgeteilt (vgl. Kapitel 2.3.2). Es standen 18 Eschen (Bergahorn: 4) überdurchschnittlicher Standorte, 13 Eschen mittlerer Standorte (Bergahorn: 18) sowie 9 Eschen unterdurchschnittlicher Standorte (Bergahorn: 6) zur Verfügung. Der gesamte Wertebereich der jährlichen Radialzuwächse und Jahrringbreiten der Bäume aus den drei Standortgruppen wird aus Tabelle 5-9: ersichtlich.

Die Betrachtung der aus den Radialzuwächsen abgeleiteten Entwicklungen der Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe am Schaft gibt einen Hinweis auf die Standortsabhängigkeit des Dickenwachstums der Eschen-solitäre (Abbildung 5-10:). Ein **Zieldurchmesser von beispielsweise 40 cm wird von Esche auf überdurchschnittlichem Standort bereits nach 34 Jahren erreicht, während dies die Esche auf mittlerem Standort erst nach 41 Jahren erzielt**. Der Eschen-solitär auf unterdurchschnittlichem Standort erreicht diese Dimension nach dem vorliegenden Datenmaterial mit einem Baumalter von 55 Jahren deutlich später. Für Bergahorn-solitäre liegt nur ein Baum mit Radialzuwächsen vor (Standortgruppe „überdurchschnittlich“). Dieser Baum erreicht einen Brusthöhendurchmesser von 40 cm mit 38 Jahren. Angesichts des geringen Datenumfangs können diese Zusammenhänge lediglich Tendenzen aufzeigen und dürfen nicht als endgültige Festlegungen verstanden werden. Aus dem gleichen Grund ist ebenso keine Baumartenvergleich hinsichtlich des Dickenwachstums möglich. Da im vorliegenden Datenmaterial keine Eschen- und Bergahorn-solitäre nebeneinander auf gleichem Standort vorhanden sind, ist diese Fragestellung aus den gegebenen Daten nicht eindeutig zu klären (vgl. Kapitel 5.1.1 mit Ergebnissen zu Dickenwachstum und Kronenbreite im Baumartenvergleich).

Tabelle 5-9: Wertebereiche des jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite der Eschen- und Bergahornsolitäre getrennt nach drei Standortgruppen.

Jährlicher Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe	Anzahl Solitäre		Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn	
Standortgruppe: "überdurchschnittlich"	5	2	1,3	1,2	9,8	9,1	5,6	5,1	2,27	2,1
Standortgruppe: "mittel"	3	3	0,2	0,01	9,1	5,1	4,9	2,7	1,73	1,58
Standortgruppe: "unterdurchschnittlich"	3	-	0,4	-	9,8	-	3,4	-	1,83	-
Jahrringbreite in 1,3 m Schafthöhe	Anzahl Solitäre		Untergrenze		Obergrenze		Arithm. Mittelwert des Datenmaterials		Standardabweichung des Datenmaterials	
	Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn		Esche/ Bergahorn	
Standortgruppe: "überdurchschnittlich"	13	2	0,2	0,8	16,7	10,3	5,8	5,0	2,89	2,26
Standortgruppe: "mittel"	10	15	0,2	0,1	9,6	10,1	4,4	3,5	1,70	1,51
Standortgruppe: "unterdurchschnittlich"	6	6	0,2	0,1	8,5	7,7	2,4	2,4	1,51	1,37

Im Folgenden soll überprüft werden, ob ein **baumaltersabhängiger Trend des jährlichen Radialzuwachses oder der Jahrringbreite zu erkennen ist**. Die Eschensolitäre der überdurchschnittlichen Standorte weisen eine fast lineare Entwicklung des Brusthöhen-durchmessers auf. Für Bergahorn ist aufgrund des geringen Datenumfanges keine eindeutige Aussage möglich. Zur genaueren Untersuchung der Zuwachsentwicklung wurden deshalb der jährliche Radialzuwachs und die Jahrringbreite getrennt nach den Standortgruppen untersucht (Abbildung 5-11: für Esche und Abbildung 5-12: für Bergahorn).

Bei der Betrachtung der Zuwachskurven beider Baumarten und der drei Standortgruppen wird zunächst ein Ansteigen des jährlichen Dickenzuwachses in jungem Entwicklungsstadium sichtbar. Nach dem Anstieg zeigt sich jedoch kein klarer Verlauf einer Zuwachskurve mit einem Bereich maximaler Zuwächse und anschließend absinkendem Zuwachsniveau. Die Variation des jährlichen Zuwachses ist beträchtlich. Für ein Teilkollektiv der Eschensolitäre von überdurchschnittlichen Standorten liegen überwiegend Zuwachswerte bis zu einem Alter von knapp 40 Jahren vor, sodass eine längerfristige Beurteilung des Zuwachsverlaufs nicht möglich ist (Abbildung 5-11:).

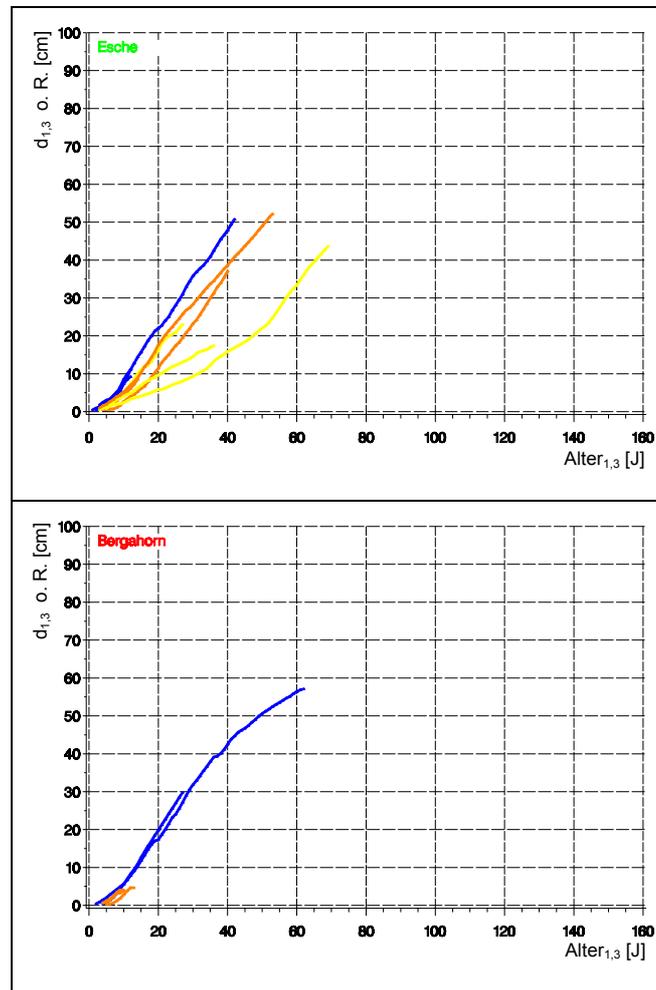


Abbildung 5-10: Verlauf der aus den jährlichen Radialzuwächsen in 1,3 m Schafthöhe abgeleiteten Durchmesserentwicklung von Eschen- (N = 11) und Bergahornsolitären (N = 5). **Signaturen:** **dunkelgrau:** überdurchschnittlicher Standort, **schwarz:** mittlerer Standort, **hellgrau:** unterdurchschnittlicher Standort.

Nur bei zwei Eschensolitären reichen die Zuwächse bis in ein Alter von 77 und 94 Jahren; für dieses Kollektiv ist kein Trend in der Entwicklung der Jahrringbreite zu erkennen. Nach einer Anwuchsphase halten beide Teilkollektive ein bestimmtes Zuwachsniveau ein. Ein mit zunehmendem Alter absinkender Zuwachsverlauf ist bei der Gesamtbetrachtung der Eschen dieser Standortsgruppe somit nicht eindeutig zu erkennen. Eschensolitäre der mittleren Standorte lassen mit zunehmendem Alter sogar ein leichtes Ansteigen der Radialzuwächse und Jahrringbreiten erkennen. Auch bei Eschensolitären unterdurchschnittlicher Standorte ist kein typischer Verlauf einer Zuwachskurve ersichtlich. Der Zuwachsverlauf der Bergahornsolitäre überdurchschnittlicher Standorte ist aufgrund der geringen Anzahl von Bäumen in dieser Gruppe nicht klar erkennbar (Abbildung 5-12:).

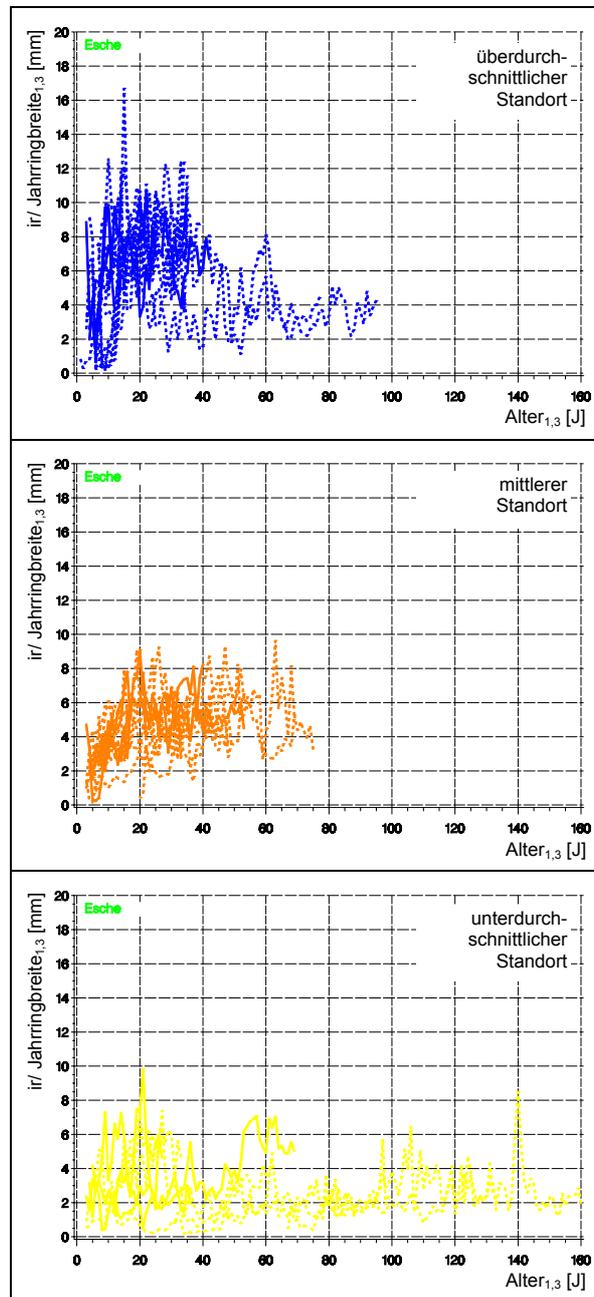


Abbildung 5-11: Verlauf des jährlichen Radialzuwachses und der Jahringbreite in 1,3 m Schafthöhe von Eschensolitären (oben: überdurchschnittliche Standorte, $N = 18$, Mitte: durchschnittliche Standorte, $N = 13$, unten: unterdurchschnittliche Standorte, $N = 9$) über dem Baumalter. **Signaturen:** durchgezogene Linie: Radialzuwachs, unterbrochene Linie: Jahringbreite.

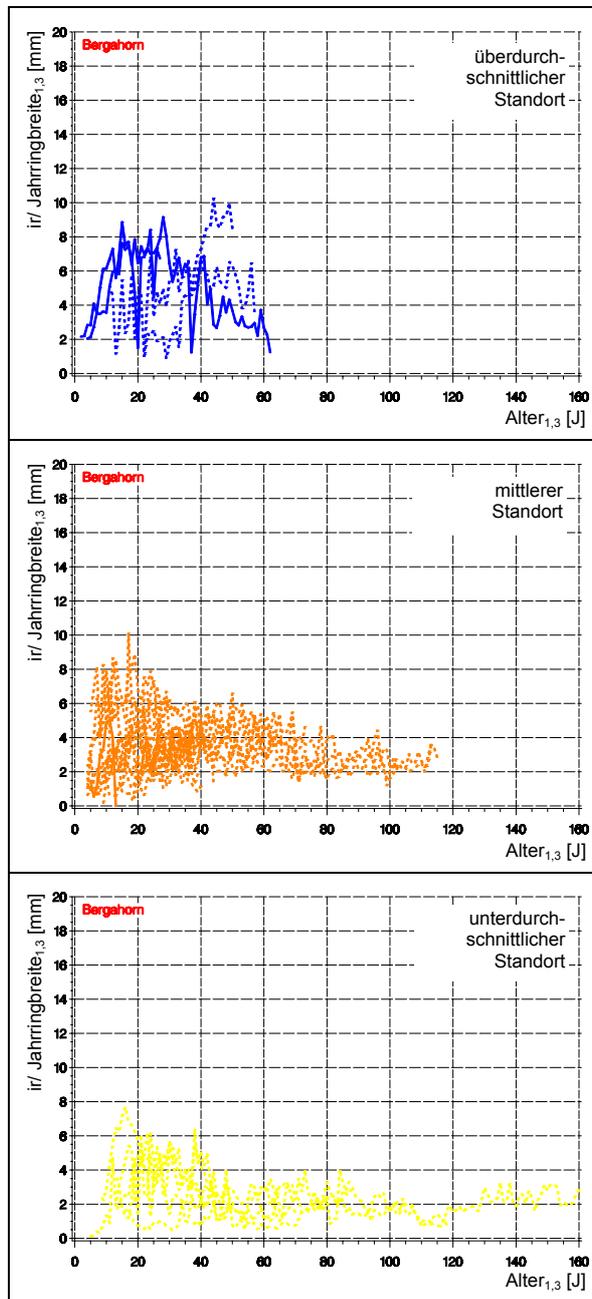


Abbildung 5-12: Verlauf des jährlichen Radialzuwachses und der Jahringbreite in 1,3 m Schafthöhe von Bergahornsolitären (oben: überdurchschnittliche Standorte, N = 4, Mitte: durchschnittliche Standorte, N = 18, unten: unterdurchschnittliche Standorte, N = 6) über dem Baumalter. **Signaturen:** durchgezogene Linie: Radialzuwachs, unterbrochene Linie: Jahringbreite.

Ein einzelner Bergahornsolitär weist nach einer Zeit geringer Jahrringbreite im Alter von 35 Jahren eine starke Zuwachssteigerung auf. Auch Veränderungen der Standortsgüte könnten dafür als Ursache in Frage kommen. Die Bergahornsolitäre der mittleren Standorte weisen eine große Variation bezüglich ihres Zuwachsverhaltens auf. Teilweise erfolgt ein Anstieg und Abflachen des jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite frühzeitig, bei einigen Bäumen ist kein deutlicher Trend ersichtlich. Die jährlichen Radialzuwächse und Jahrringbreiten der Bergahorne unterdurchschnittlicher Standorte schwanken ab einem Baumalter von 40 Jahren mit Werten zwischen 0,5 und 4 mm sehr stark.

Bei einer visuellen Betrachtung der Kurvenverläufe ist somit nicht eindeutig auf eine Altersabhängigkeit der jährlichen Radialzuwächse und der Jahrringbreiten zu schließen.

Neben der visuellen Begutachtung der Zuwachsverläufe wurde **eine statistische Überprüfung** durchgeführt. Mit dem in Kapitel 2.1.2 (Gleichung 1) für das Höhenwachstum vorgestellten Funktionstyp konnte weder für Esche noch für Bergahorn eine befriedigende Anpassung an das Datenmaterial erreicht werden. Es ergab sich jeweils eine zu frühe Kulmination der Zuwachswerte, sowie ein durch das Datenmaterial nicht abgedecktes zu hohes Kulminationsniveau. Zusätzlich wurden bei einem Alter von 40 Jahren Zuwachswerte von 1 bis 3 mm unabhängig vom Standort vorhergesagt. Auch eine für die jeweiligen Standortgruppen getrennte Modellierung erbrachte keine Verbesserung der Modellergebnisse. Mit dem sehr einfachen Gleichungssystem von SCHUMACHER (1939) konnte ebenso keine befriedigende Anpassung an das Datenmaterial erreicht werden. Auch invers-polynomische Funktionen zweiten und dritten Grades (SIT & POULIN-COSTELLO 1994) als mehr „empirische“ und deshalb sich flexibler an das Datenmaterial anschmiegende Zuwachskurventypen (VANCLAY 1994) passten sich unbefriedigend an die Ausgangsdaten an.

Aus dem Vergleich der arithmetischen Mittelwerte von Jahrringbreite und Radialzuwachs ergibt sich, dass **auf besseren Standorten höhere jährliche Zuwachswerte als auf schlechteren Standorten erreicht werden können** (Tabelle 5-9:). Beispielsweise findet sich bei Eschensolitären auf überdurchschnittlichem Standort ein Mittelwert des jährlichen Radialzuwachses von 5,6 mm, auf mittleren Standorten ein Mittelwert von nur noch 4,9 mm (Bergahorn: 5,1 mm und 2,7 mm). Diese Werte beschreiben jedoch das vorliegende Datenmaterial und können auf anderen Standorten abweichende Werte einnehmen.

Somit konnte für Eschen- und Solitäre ein Hinweis auf die Standortsabhängigkeit des Dickenwachstums gefunden werden. Ein altersabhängiger Trend der Zuwachsverläufe bestätigte sich jedoch mit den angewandten Methoden nicht.

6 FOLGERUNGEN FÜR DIE WACHSTUMS- STEUERUNG

Die Ergebnisse zur Dynamik der Astreinigung und des Dickenwachstums heben die grundlegenden, für die Wertholzproduktion bedeutsamen Wachstumsgesetzmäßigkeiten für Esche und Bergahorn hervor. Im folgenden Abschnitt werden diese Ergebnisse zu Entscheidungshilfen weiterentwickelt. Zunächst erfolgt eine Darstellung der Entscheidungshilfen zur Steuerung der Astreinigung, danach zur Steuerung des Dickenwachstums.

6.1 ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR STEUERUNG DER ASTREINIGUNG

Die zur Astreinigung vorgelegten wachstumskundlichen Modelle erlauben die Vorhersage des Verlaufs der Astreinigung in Abhängigkeit von Höhenbonität und Durchmesserzuwachs und die Abschätzung der inneren Astigkeit.

Entscheidungshilfe A – Zeitpunkt des Erreichens einer bestimmten astfreien Schaftlänge

Die Dynamik der Astreinigung ist durch Veränderungen im Standraum steuerbar, zugleich wird sie jedoch auch durch den Standort beeinflusst. Der in Kapitel 4.3.1 dargestellte statistische Zusammenhang zur Berechnung der astfreien Schaftlänge beschreibt diesen Sachverhalt. Bedingt durch die großen Höhenzuwächse von Esche und Bergahorn in jungem Entwicklungsstadium wird dabei eine **angestrebte absolute astfreie Schaftlänge bereits früh erreicht** (Abbildung 6-1:). Dabei wird bei Eschen mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 2 mm in 1,3 m Schafthöhe beispielsweise eine astfreie Schaftlänge von 10 m für die Höhenbonität 33 m in 25 Jahren erreicht, während dies für die Radialzuwachsvariante 5 mm 11 Jahre später erfolgt. Neuere Konzepte (z.B. WILHELM et al. 1999a, WILHELM et al. 1999b, WILHELM et al. 1999c) halten die astfreie Schaftlänge auf diesem Niveau, danach wird im weiteren Zeitablauf das bisherige Ausgangsniveau des Radialzuwachses verlassen und auf ein höheres Niveau angehoben. Durch das langsamer verlaufende Höhenwachstum des Bergahorns wird hier diese astfreie Schaftlänge zu einem späteren Zeitpunkt erreicht.

Die **angestrebte astfreie Schaftlänge** kann auch **als Wert relativ einer auf einem Standort zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichbaren Endhöhe** dargestellt werden. Damit lassen sich in Abhängigkeit von der Güte des Standorts in einfacher flexibler Weise Zielsetzungen für eine astfreie Schaftlänge fixieren. Entsprechend der größeren erreichbaren Baumhöhe auf besseren Standorten kann bei gleicher Produktionszeit auch eine höhere absolute astfreie Schaftlänge angestrebt werden. Auch bei dieser Zielsetzung wird das frühe Erreichen einer bestimmten astfreien Schaftlänge deutlich (Abbildung 6-2:).

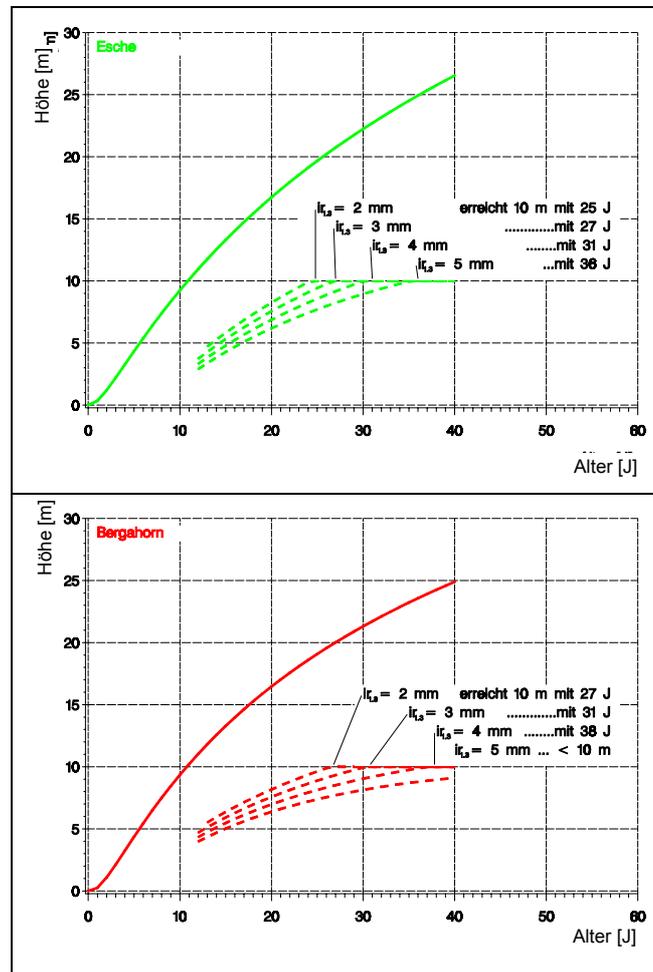


Abbildung 6-1: Erreichen einer absoluten astfreien Schaftlänge von 10 m bei Esche (oben, Höhenbonität 33 m) und Bergahorn (unten, Höhenbonität 30 m) für verschiedene Radialzuwachsvarianten, Bestandesbäume.

Soll die astfreie Schaftlänge 20 % (absolut: 8,3 m) der Endhöhe betragen, die eine Esche in 100 Jahren bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm erreicht, wird dieser Wert bei der Höhenbonität 33 m bereits im Alter von 22 Jahren, oder bei einem Brusthöhendurchmesser von 13,2 cm erreicht. Eine geforderte astfreie Schaftlänge von 25 % wird entsprechend später erreicht. Für Bergahorn liegen vergleichbare Verhältnisse vor: eine astfreie Schaftlänge von 20 % (absolut: 7,2 m) der in 100 Jahren mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm angestrebten Endhöhe wird im Alter von 20 Jahren und bei einem Brusthöhendurchmesser von 12 cm erreicht (Höhenbonität 30m).

Damit wird deutlich, dass – bedingt durch die spezifische Wachstumsdynamik von Esche und Bergahorn – eine angestrebte astfreie Schaftlänge bereits in sehr frühem Entwicklungsstadium erreicht wird.

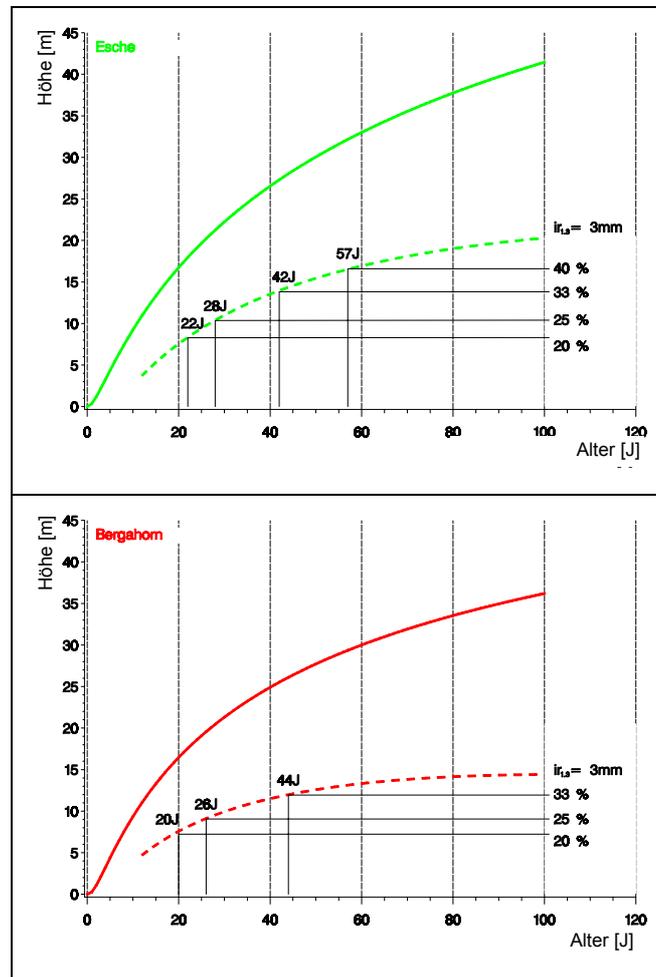


Abbildung 6-2: Erreichen einer auf die Endhöhe zu einem bestimmten Zeitpunkt bezogenen relativen astfreien Schaftlänge von 20, 25, 33 und 40 % für die Radialzuwachsvariante 3 mm (Esche: oben Endhöhe 41,5 m; entspricht Höhenbonität $h_{60J} = 33\text{ m}$; Bergahorn: unten, Endhöhe 36,2 m, entspricht Höhenbonität $h_{60J} = 30\text{ m}$), Zieldurchmesser jeweils 60 cm, Bestandesbäume.

Zur Entscheidungshilfe und zur Einschätzung der Dynamik der Astreinigung können aus Tabelle 6-1: die zu bestimmten Zeitpunkten erreichten Brusthöhendurchmesser entnommen werden, wie sie bei einem bestimmten Verlauf des Durchmesserwachstums zu erwarten sind; es wurde davon ausgegangen, dass die astfreie Schaftlänge 25 % der beim Zieldurchmesser erreichten Endhöhe betragen soll. Davon abweichende Zielsetzungen (z.B. 33 % astfreie Schaftlänge) können mit Hilfe des Modells zur astfreien Schaftlänge und für variable Radialzuwächse erfolgen. Die Darstellung fasst die Ergebnisse für verschiedene Höhenbonitäten und für beide Baumarten zusammen. Beispielsweise wird bei Esche eine astfreie Schaftlänge von 25 % der Endhöhe (absolut: 10,4 m) auf Standorten der Höhen-

bonität 33 m bereits in einem Alter von 28 Jahren überschritten (durchschnittlicher Radialzuwachs: 3 mm). Mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm bleibt dieser Zeitpunkt im Falle der Höhenbonität 33 m zwar konstant, die absolute astfreie Schaftlänge sinkt jedoch auf 9,4 m. Auch für die beste Höhenbonität des Bergahorn wird dieser relative Wert in einem sehr frühen Entwicklungsstadium erreicht.

Tabelle 6-1: Entscheidungshilfe zum Abschätzen des Zeitpunktes [J] und des Brusthöhendurchmessers [cm], bei dem eine relative astfreie Schaftlänge von 25 % bezüglich der erreichten Endhöhe überschritten wird. Unterstellt wird jeweils ein Zieldurchmesser von 60 cm. Für Radialzuwachsvarianten außerhalb des Gültigkeitsbereiches der zu Grunde liegenden Wachstumsgesetzmäßigkeiten wurden keine Werte berechnet, Bestandesbäume.

Esche										
Ø ir _{1,3}	Höhenbonität 33 m		Höhenbonität 30 m		Höhenbonität 27 m		Höhenbonität 24 m		Höhenbonität 21 m	
	Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	28	16,8	33	19,8	39	23,4	47	28,2	57	34,2
4	28	22,4	33	26,4	40	32,0	50	40,0	66	52,8
5	28	28,0	34	34,0	44	44,0	63	63,0	-	-

Bergahorn										
Ø ir _{1,3}	Höhenbonität 30 m		Höhenbonität 27 m		Höhenbonität 24 m		Höhenbonität 21 m		Höhenbonität 18 m	
	Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]		Zeitpunkt/ d _{1,3} [J]/ [cm]	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	26	15,6	32	19,2	40	24,0	51	30,6	69	41,4
4	25	20,0	33	26,4	43	34,4	66	52,8	-	-
5	26	26,0	35	35,0	-	-	-	-	-	-

Entscheidungshilfe B – Volumen astfreien Schaffholzes pro Hektar

Zur Einschätzung der erreichbaren Holzqualität muss jedoch neben der astfreien Schaftlänge auch die **innere Ästigkeit** des äußerlich astfreien Schaftstückes mit in Betracht gezogen werden. Mit der in Kapitel 4.3.1 geschilderten Vorgehensweise kann unter Annahmen zur Schaftform diesbezüglich eine Aussage getroffen werden. Mit zunehmendem Durchmesserzuwachs ist bei gleichem Höhenwachstum ein breiterer asthaltiger Kern im Schaft zu erwarten. Für eine bestimmte Variante des Durchmesserzuwachses wird mit steigender Höhenbonität der asthaltige Kern schmaler. Entsprechend einer Forderung von SCHULZ (1959) für die Eiche, wonach 1/3 asthaltiger Kern und 2/3 astfreier Mantel anzustreben ist, wird in Tabelle 6-2: die Höhe am Schaft angegeben, in der diese Forderung nicht mehr erreicht wird. Mit zunehmendem Radialzuwachs nimmt die Länge des Schaftes, bei der der Anteil des asthaltigen Kerns ein Drittel des Schaftdurchmessers übersteigt, bei beiden Baumarten – bei Bergahorn etwas schwächer – deutlich zu. Diese bezogen auf die gesamte astfreie Schaftlänge relative Länge des Schaftes, bei der der Anteil des asthaltigen Kerns ein Drittel des Schaftdurchmessers übersteigt, nimmt mit sinkender Höhenbonität deutlich zu. Mit zunehmendem Radial-

zuwachs und abnehmender Höhenbonität verbirgt sich somit mit zunehmendem Maße unter einem äußerlich astfreien Schaft ein innerer asthaltiger Kern mit einer Breite über einem Drittel des Schaftdurchmessers. Allerdings sinken die Produktionszeiträume.

Tabelle 6-2: Entscheidungshilfe zum Abschätzen der Höhe am Schaft, in der die Breite des asthaltigen Kerns 1/3 des Schaftdurchmessers überschreitet (bei 60 cm Brusthöhendurchmesser, Schaftformberechnung nach DAGNELIE et al. (1999) und IN et al. (1972). **Spalte a:** astfreie Schaftlänge; **Spalte b:** Höhe am Schaft, in der die Breite des asthaltigen Kerns 1/3 des Schaftdurchmessers überschreitet; **Spalte c** = (a-b)/c: relative Länge des Schaftes, bei der der Anteil des asthaltigen Kerns ein Drittel des Schaftdurchmessers übersteigt. Für Radialzuwachsvarianten außerhalb des Gültigkeitsbereiches der zu Grunde liegenden Wachstumsgesetzmäßigkeiten wurden keine Werte berechnet, Bestandesbäume.

Esche															
Ø ir _{1,3} [mm]	Höhenbonität 33 m			Höhenbonität 30 m			Höhenbonität 27 m			Höhenbonität 24 m			Höhenbonität 21 m		
	a [m]	b [m]	c [%]												
2	-	-	-	-	19,3	-	-	13,9	-	-	12,3	-	-	9,6	-
3	20,3	14,0	31	18,0	11,2	38	15,7	8,8	44	13,3	6,2	53	10,8	4,0	63
4	16,0	9,8	39	13,7	7,1	48	11,3	4,9	57	9,0	2,9	68	6,6	1,2	82
5	12,8	6,7	48	10,5	4,7	55	8,2	2,6	68	5,9	-	-	3,6	-	-

Bergahorn															
Ø ir _{1,3} [mm]	Höhenbonität 30 m			Höhenbonität 27 m			Höhenbonität 24 m			Höhenbonität 21 m			Höhenbonität 18 m		
	a [m]	b [m]	c [%]												
2	-	14,9	-	-	12,8	-	-	10,9	-	-	8,9	-	-	6,8	-
3	14,4	11,2	22	12,7	9,2	28	10,9	7,1	35	9,0	5,1	43	7,1	3,3	54
4	11,8	8,4	29	9,9	6,6	33	8,0	4,6	43	6,1	2,8	54	4,2	-	-
5	9,7	6,5	33	7,8	4,6	41	5,9	2,6	56	4,0	-	-	2,1	-	-

Mit Hilfe der in Kapitel 5 vorgestellten Ergebnisse zum Dickenwachstum und Kronenexpansion kann zusätzlich zu den bisherigen Überlegungen die Anzahl der auf einem Hektar vorhandenen Z-Bäume berechnet werden, die einen angestrebten Zieldurchmesser erreicht haben. Damit kann **das Volumen des astfreien Schaftholzes über die gesamte astfreie Schaftlänge der Z-Bäume je Hektar** dargestellt werden (Abbildung 6-3:). Mit diesem Flächenbezug kann der Zusammenhang zwischen Qualität und Menge des produzierten Holzes untersucht werden. Unterstellt wurde ein einheitlicher Zieldurchmesser von 60 cm. Dieser Zieldurchmesser kann in Abhängigkeit von der Radialzuwachsvariante in einer deutlich unterschiedlichen Produktionszeit erreicht werden. Beispielsweise bringt ein Ansteigen des durchschnittlichen Radialzuwachses von 3 auf 5 mm eine Reduktion der Produktionszeit um 40 %. Bei geringem Radialzuwachs kann ein hohes Volumen an astfreiem Holz je Hektar durch eine hohe Baumzahl mit vergleichsweise geringen Durchmessern realisiert werden. Wird eine Pflegestrategie verfolgt, die einen hohen Durchmesserzuwachs anstrebt, können zwar größere Zieldimensionen erreicht werden, das größere Erntevolumen des Einzelstammes kann jedoch nicht die geringe Baumzahl pro

Hektar kompensieren. Mit zunehmender Höhenbonität kann ein zunehmend größeres Volumen an astfreiem Holz je Hektar erzielt werden.

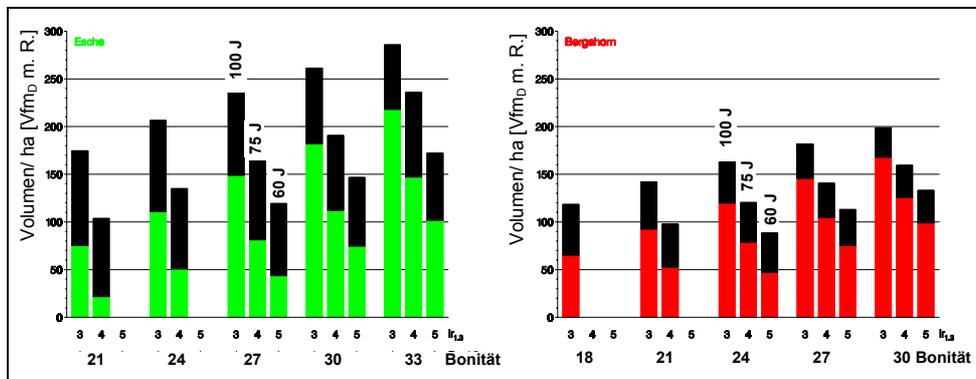


Abbildung 6-3: Volumen astfreien Schaftholzes über die gesamte astfreie Schaftlänge der Z-Bäume je Hektar für verschiedene Radialzuwachsvarianten gruppiert nach Höhenbonitäten im Alter 60 J (Esche: links, Bergahorn: rechts); für je eine Bonität je Baumart wurde die Produktionszeit eingefügt. **Signatur: schwarz:** Volumen äußerlich astfreien Schaftholzes der Z-Bäume mit einem asthaltigen Kern über 1/3 des Schaftdurchmessers. Brusthöhendurchmesser der Z-Bäume 60 cm, Überschirmungsgrad 70 %. Für Radialzuwachsvarianten außerhalb des Gültigkeitsbereiches der zu Grunde liegenden Wachstumsgesetzmäßigkeiten wurden keine Werte berechnet, Bestandesbäume.

Bei der Betrachtung des Volumens astfreien Schaftholzes ab der Höhe am Schaft, bei der der asthaltige Kern 1/3 des Schaftdurchmessers überschreitet, wird deutlich, dass dessen Anteil mit zunehmendem Radialzuwachs deutlich ansteigt. Ein Erziehungskonzept mit hohen Radialzuwachsen bedeutet deshalb nicht nur eine reduzierte astfreie Schaftlänge, sondern zusätzlich einen größeren Volumenanteil äußerlich astfreien Schaftholzes, jedoch mit einem asthaltigen Kern über 1/3 des Schaftdurchmessers.

Beim **Baumartenvergleich** zeigen sich die im vorstehenden Absatz beschriebenen Tendenzen als für beide Baumarten gültig. Die hektarbezogene Volumenleistung an astfreiem Schaftholz über die gesamte astfreie Schaftlänge der Z-Bäume liegt - bedingt durch Unterschiede in der Astreinigung - bei der Esche deutlich über derjenigen des Bergahorns. Aufgrund des unterschiedlichen Verlaufs der Astreinigung und der unterschiedlichen Schaftform von Esche und Bergahorn ist der Volumenanteil an astfreiem Schaftholz mit einem asthaltigem Kern über 1/3 des Schaftdurchmessers jedoch gegenüber der Esche geringer. Bei steigendem durchschnittlichem Radialzuwachs nimmt dieser Volumenanteil somit im Vergleich zur Esche weniger stark zu.

Entscheidungshilfe C – Pflanzverband und Astdurchmesser

Der Zusammenhang zwischen **Astlänge und Astdurchmesser** (vgl. Kapitel 4.4.1) bietet eine einfache Möglichkeit zur Abschätzung der zu erwartenden Astdurchmesser in Abhängigkeit von der Astlängenentwicklung. Unterstellt man einen durchschnittlichen Astansatzwinkel von 45° für beide Baumarten, so kann der durchschnittliche Astdurch-

messer an der Kronenbasis in Abhängigkeit vom Pflanzverband angegeben werden. Dabei wird vereinfachend von einer kreisförmigen Krone ausgegangen. Beispielsweise kann für einen Abstand der Eschen und Bergahorne zwischen den Reihen von 4 m von einem durchschnittlichen Astdurchmesser von 2,6 cm derjenigen Äste ausgegangen werden, die in die Lücke zwischen den Reihen zeigen (Tabelle 6-3:). Für Bergahorne ist dieser Wert geringfügig größer. Für Äste, die in die Richtung der Reihe zeigen, läßt sich ein durchschnittlicher Astdurchmesser entsprechend dem Pflanzabstand in der Reihe berechnen.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Krümmung des Astes am Schaft und auch die Verteilung der Astdurchmesser bei einer bestimmten Kronenbreite berücksichtigt werden muss. Durch die vereinfachende Annahme eines gestreckt verlaufenden Astes – im Gegensatz zu den Messungen entlang des Astbogens – weisen die geschätzten durchschnittlichen Astdurchmesser aus Tabelle 6-3: eine unterschätzende Tendenz auf.

Vereinfachend kann als **Faustformel des Verhältnis von Astdurchmesser und Astlänge mit 1:100** verwendet werden, wobei damit der Astdurchmesser überschätzt wird. Diese Verhältniszahl besitzt wegen des abweichenden Wachstums von Primärästen von Solitären (vgl. Kapitel 4.4.5) jedoch nur Gültigkeit für Bestandesbäume. Ähnliche Verhältnisse für Bestandesbäume fanden auch NUTTO (1999) bei Eiche, ABETZ & MERKEL (1968) sowie DELEUZE et al. (1996) und BURK et al. (1983) bei Pappel.

Mit dem berechneten durchschnittlichen Astdurchmesser und dem in Kapitel 4.4.3 dargestellten Zusammenhang zwischen dem Radius des asthaltigen Kerns und verschiedenen Parametern des überwallten Astes kann **der Radius des asthaltigen Kerns bis zum Mark** geschätzt werden. Dabei werden für die Astdurchmesser vereinfachend ein Rindenabzug von 2 mm^2 sowie gestaffelte Radialzuwächse des Baumes zur Lebenszeit des Astes und ein durchschnittlicher Astansatzwinkel des überwallten Astes (vgl. Tabelle 4-12) angenommen. Für beide Baumarten ist ein zunehmender Radius des asthaltigen Kerns zu erwarten (Tabelle 6-3:).

Tabelle 6-3: Entscheidungshilfe zum Abschätzen des durchschnittlichen Astdurchmessers an der Kronenbasis quer zur Pflanzreihe bei unterschiedlichen Pflanzverbänden für Esche und Bergahorn, (Unterstellungen: gestreckt verlaufender Ast, Astansatzwinkel: 45° , Reihenverband, kreisförmige Krone, Zusammenhang zwischen Astlänge und Astdurchmesser aus Kapitel 4.4.1, $i_{r_{leb}}$ = durchschnittlicher Radialzuwachs in 1,3 m Schafthöhe während der Lebenszeit des Astes), Bestandesbäume.

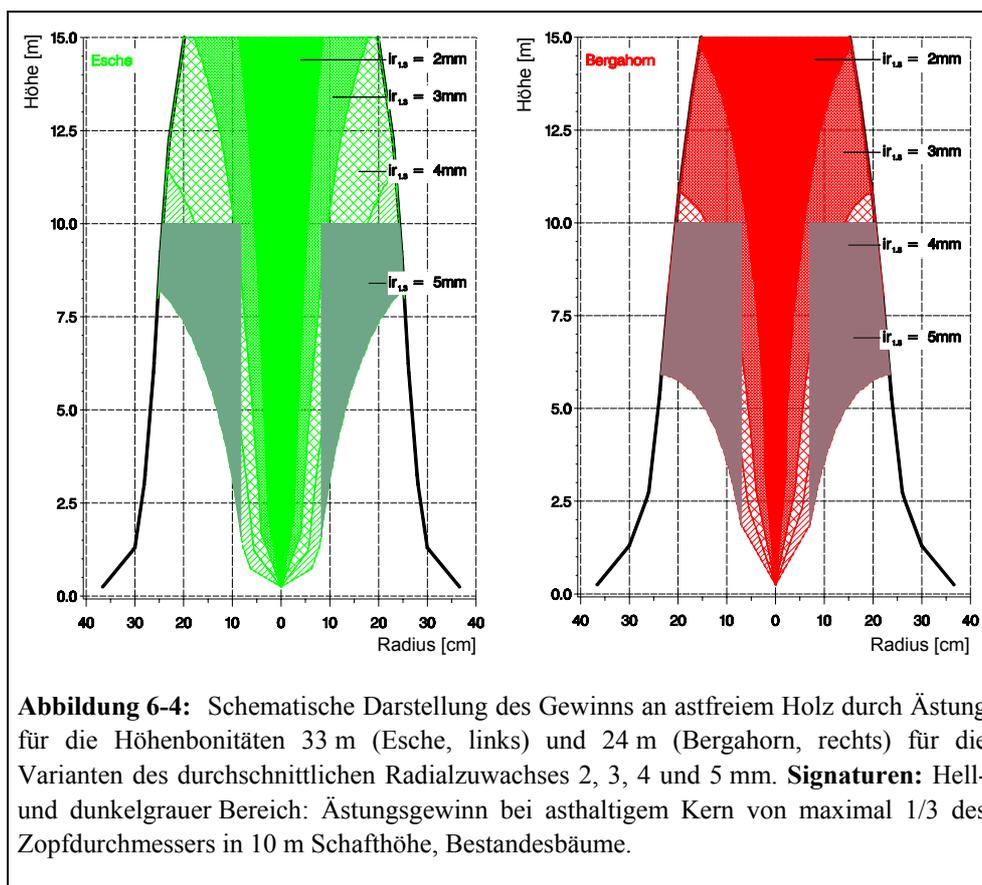
Pflanzabstand zwischen den Reihen [m]	Esche		Bergahorn	
	durchschnittlicher Astdurchmesser [cm]	Radius asthaltiger Kern [cm]	durchschnittlicher Astdurchmesser [cm]	Radius asthaltiger Kern [cm]
2	1,5	($i_{r_{leb}} = 4 \text{ mm}$), 7,3	1,5	($i_{r_{leb}} = 4 \text{ mm}$), 7,8
4	2,6	($i_{r_{leb}} = 5 \text{ mm}$), 9,2	2,6	($i_{r_{leb}} = 5 \text{ mm}$), 10,2
6	3,8	($i_{r_{leb}} = 6 \text{ mm}$), 11,4	3,8	($i_{r_{leb}} = 6 \text{ mm}$), 12,7

⁴² Auf Grund von orientierenden Messungen an 15 Eschen- und Bergahornästen.

Aufgrund der Unterschiede im Modell zum Radius des asthaltigen Kerns weist der Radius des asthaltigen Kerns für Bergahorn im Vergleich zur Esche leicht höhere Werte auf. Auch hier macht sich allerdings die unterschätzende Tendenz der Astdurchmesserentwicklung bemerkbar. Die Gültigkeitsgrenzen der zugrundeliegenden Modelle sind zu beachten.

Orientierungshilfe D – Ästung

Auch durch **Ästung** kann die Wertholzproduktion verbessert werden. Anhand des in Kapitel 4.3.3 vorgestellten Modells zur inneren Astigkeit nach natürlicher Astreinigung kann zugleich eine vereinfachende Abschätzung des Gewinns an astfreiem Mantel erfolgen. Da es sich hier jeweils um prinzipielle Überlegungen mit gering abgesicherter Datenlage handelt, soll im Unterschied zu den zuvor genannten Entscheidungshilfen im Folgenden lediglich von Orientierungshilfen gesprochen werden. Soll beispielsweise bei einer angestrebten astfreien Schaftlänge von 10 m (hier zunächst unabhängig von der Höhenbonität) auch in dieser Schafthöhe noch ein Drittel des Schaftdurchmessers astfrei sein (vgl. SCHULZ 1959), so zeigt sich das Wertschöpfungspotenzial einer Ästung (Abbildung 6-4):



Der **Ästungsgewinn** ist dabei größer für die niedrigere Höhenbonität. Daraus kann jedoch nicht ohne weiteres gefolgert werden, dass eine Wertästung bei schlechteren Höhen-

bonitäten ökonomisch vorteilhafter ist. Es muss dabei auch berücksichtigt werden, dass eine astfreie Schaftlänge von 10 m auf schlechteren Höhenbonitäten entsprechend später erreicht wird. Auch Wachstumsreaktionen nach Ästung könnten in Abhängigkeit von der Höhenbonität unterschiedlich sein. Zusätzlich **können ästungsinduzierte Reduktionen des Dickenwachstums** die angestrebte Produktionszeit verlängern. Ebenso muss die **Qualität der Ästung** entsprechend den Ergebnissen aus Kapitel 4.5.3 ausgerichtet sein.

Aus den in Kapitel 4.4.4 und Kapitel 4.5.2 zur **Überwallungsdauer** bei natürlicher Astreinigung sowie bei Ästungen dargestellten Zusammenhängen kann auch eine weitere Hilfestellung zur Einschätzung der Vorteilhaftigkeit der Ästung geleistet werden. Mit Hilfe der Ästung läßt sich die Überwallungsdauer deutlich reduzieren.

Dabei wird die Bedeutung des totasthaltigen Anteils des asthaltigen Kerns deutlich: unterstellt man bei natürlicher Astreinigung einen Radialzuwachs in der Überwallungszeit von 3 mm und einen Astdurchmesser von 3 cm, steigt die Überwallungsdauer bei Esche von 8 auf 15 Jahre (Bergahorn: 8 auf 17 Jahre), wenn der totasthaltige Anteil statt 1 cm 4 cm beträgt. Mit einer Verdopplung des Radialzuwachses von 2 auf 4 mm sinkt die Überwallungsdauer entsprechend den Vorzeichen des Überwallungsmodells von 12 auf 8 Jahre für Esche und Bergahorn (ebenso Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Orientierungshilfe zur Schätzung der Überwallungsdauer [J] in Abhängigkeit vom Astdurchmesser [cm], dem Radialzuwachs in der Überwallungszeit [mm] und dem totasthaltigen Anteil des asthaltigen Kerns [cm] für Esche und Bergahorn, natürliche Astreinigung, Bestandesbäume.

Radialzuwachs in der Überwallungszeit: $i_{r_{uew}}$ [mm]	Totasthaltiger Anteil des asthaltigen Kerns: [cm]	Astdurchmesser: d_{Ast} [cm]	Esche Überwallungsdauer [J]	Bergahorn Überwallungsdauer [J]
3	2	1	8	8
3	2	4	11	11
3	1	3	8	8
3	4	3	15	17
2	2	3	12	12
4	2	3	8	8

Durch den **Wegfall des totasthaltigen Anteils des asthaltigen Kerns** verkürzt sich im Gegensatz zur natürlichen Astreinigung die Überwallungsdauer nach Ästung beträchtlich: bei einem Radialzuwachs von 3 mm und einem Astdurchmesser von 4 mm zum Zeitpunkt der Ästung liegt sie mit 6 Jahren als nach natürlicher Astreinigung mit 11 Jahren (Tabelle 6-5). Doch auch nach Ästung gelten weiterhin die wachstumskundlichen Gesetzmäßigkeiten, wonach mit steigendem Radialzuwachs in der Überwallungszeit die Überwallungsdauer sinkt. Mit steigendem Astdurchmesser zum Zeitpunkt der Ästung steigt dagegen auch die Überwallungszeit (ebenso Tabelle 6-5).

Tabelle 6-5: Orientierungshilfe zur Schätzung der Überwallungsdauer [J] in Abhängigkeit vom Astdurchmesser [cm] und dem Radialzuwachs in der Überwallungszeit [mm] für Esche und Bergahorn, Ästung), Bestandesbäume.

Radialzuwachs in der Überwallungszeit: $i_{r_{uew}}$ [mm]	Astdurchmesser: d_{Ast} [cm]	Esche Bergahorn Überwallungsdauer [J]
3	1	3
3	4	6
3	3	5
2	3	6
4	3	4

6.2 ENTSCHEIDUNGSHILFEN ZUR STEUERUNG DES DICKENWACHSTUMS

Mit Hilfe der in Kapitel 5 vorgestellten Wachstumsgesetzmäßigkeiten ist es möglich, Entscheidungshilfen zur Steuerung des Dickenwachstums zu erstellen. Während zahlreiche Empfehlungen überwiegend qualitativer Art vorhanden sind, die oftmals die Notwendigkeit stärkere Eingriffe fordern (z.B. VOLQUARDTS 1958, ERTELD 1959, FAUST 1963), (VAN MIEGROET 1956, ZÜGE 1986, NÜBLEIN 1995), sollen hier quantitative Entscheidungshilfen zur Auswahl vorgelegt werden. Dabei soll eine Zielvorstellung hinsichtlich des Schaftdurchmessers vorhanden sein, aber auch die Ausgangslage im jeweiligen Bestand muss berücksichtigt werden. Da es hinsichtlich des bisherigen Durchmesserzuwachses beliebig viele Ausgangslagen gibt und auch zahlreiche verschiedene Ziele angestrebt werden können, wird die Entscheidungshilfe weitgehend unabhängig von Ausgangslage und Zielvorstellung formuliert. Dabei wird ein von SPIECKER (1983) vorgeschlagenes Verfahren angewendet, bei dem von einer räumlich gleichmäßigen Verteilung aller Bäume in einem regelmäßigen Dreiecksverband ausgegangen wird. Der nicht überschirmte Bereich wird über einen mittleren Überschirmungsgrad berücksichtigt.

Entscheidungshilfe A - Anzahl der zu entnehmenden Bedränger pro Z-Baum

Zur Steuerung des Dickenwachstums kann ausgehend von der baumindividuellen Situation die Anzahl der **zu entnehmenden Bedränger pro Z-Baum** für den Zeitraum der kommenden fünf Jahre entsprechend einer von Spiecker erstmals vorgestellten Vorgehensweise errechnet werden. Aus Tabelle 6-6: und Tabelle 6-7: können die Z-Baum bezogenen Durchforstungsansätze in Abhängigkeit vom Durchmesser des Z-Baumes und dem Baumalter entnommen werden. Es wurde dabei ein Überschirmungsgrad von 70 %, eine Durchmesserrelation von Bedränger zu Z-Baum von 100 %, 90 % und 80 % sowie für 65 Z-Bäume/ ha (Esche) und 75 Z-Bäume/ ha (Bergahorn) unterstellt.

Aus den Tabellen 6-6 und 6-7 wird deutlich, dass mit zunehmendem Durchmesser eines Z-Baumes bei einem bestimmten Baumalter weniger Bedränger pro Z-Baum in den kommenden 5 Jahren zu entnehmen sind, um den Durchmesserzuwachs auf dem gleichem Niveau zu halten. Dies ist verständlich, da mit zunehmender Kronengröße der Bedränger

dem Z-Baum bei einer Durchforstung auch eine größere Standfläche zur Verfügung steht. Umgedreht sinkt für Z-Bäume mit einem bestimmten Brusthöhendurchmesser und zunehmendem Baumalter die Anzahl der zu entnehmenden Bedränger, da zur Erhaltung eines geringen Durchmesserzuwachses ein geringer Kronenschirmflächenbedarf benötigt wird. Mit sinkendem Verhältnis der Durchmesserrelation von Bedränger zu Z-Baum müssen aus der gleichen Überlegung heraus mehr Bedränger pro Z-Baum entnommen werden: um bei einem Z-Baum den gleichen Durchmesserzuwachs wie in der Vergangenheit zu erhalten, müssen desto mehr Bedränger pro Z-Baum entnommen werden, je kleinkroniger die Bedränger sind. Darin kann ein Hinweis auf die Durchforstungsdringlichkeit gesehen werden. Weist der Bedränger einen im Vergleich mit dem Z-Baum größeren Durchmesser auf, kann eine Förderung des im Wachstum unterlegenen Z-Baumes notwendig sein. Mit zunehmendem Überschirmungsgrad müssen mehr Bedränger pro Z-Baum entnommen werden, um den bisherigen Durchmesserzuwachs zu erhalten. Die mit der Entnahme eines Bedrängers freiwerdende Kronenschirmfläche kann bei voller Überschirmung von mehreren verbleibenden Bäumen genutzt werden.

Im **Baumartenvergleich** müssen bei der Esche für die gleiche Durchmesserentwicklung tendenziell mehr Bedränger pro Z-Baum als beim Bergahorn entnommen werden. Diese Unterschiede sind durch die unterschiedlichen Parameterschätzer des Kronenbreitenmodells bedingt. Ein möglicherweise unterschiedliches Potenzial der beiden Baumarten freiwerdenden Kronenraum zu besetzen – z.B. aufgrund von Unterschieden im Astlängenwachstum – wird in dieser Entscheidungshilfe allerdings nicht berücksichtigt.

Da diese Berechnungen für verschiedenartige Zielsetzungen durchgeführt werden können und verschiedene Ausgangslagen berücksichtigen, können sie als weitgehend ziel- und zustandsorientiert bezeichnet werden (vgl. Kapitel 1.2). Soll nach Erreichen einer astfreien Schaftlänge die Astreinigung durch ständige Kronenumlichtung gestoppt werden, muss die Anzahl der tatsächlich zu entnehmenden Bedränger um ein Vielfaches höher liegen als die in Tabelle 6-6: und Tabelle 6-7: angegebenen Werte. Dickenwachstum und Kronenexpansion nähern sich dann den von Solitären bekannten Werten an und repräsentieren dann das standörtlich mögliche Wachstumspotenzial (vgl. Kapitel 5.2.4).

Wenn die Zahl der Z-Bäume pro Hektar deutlich von den in den Tabelle 6-6: und Tabelle 6-7: genannten Werten abweicht, müssen Abweichungen von den Tabellenwerten berücksichtigt werden. Dabei ist der Zeitpunkt von Bedeutung, an dem durch die Entnahme eines Bedrängers mehr als ein einziger Z-Baum begünstigt wird. Nach diesem Zeitpunkt ändert sich die Zahl der Bedränger pro Z-Baum umgekehrt proportional zur Anzahl der Z-Bäume (SPIECKER 1991). Werden somit mehr Z-Bäume ausgewählt, tritt dieser Zeitpunkt früher ein und die Anzahl der zu entnehmenden Bedränger pro Z-Baum wird etwas früher sinken. Zur Orientierung werden in Tabelle 6-8: in Abhängigkeit von der Z-Baumzahl und dem durchschnittlichen Radialzuwachs in Brusthöhe diese Zeitpunkte aufgeführt.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Durchforstungsanfall über dem Tabellenwert liegen kann, wenn zusätzlich absterbende Bäume oder Protzen entnommen werden sollen.

Tabelle 6-8: Baumalter, ab dem in Abhängigkeit von der Anzahl der Z-Bäume durch die Entnahme von Bedrängern mehr als ein Z-Baum begünstigt wird, (Überschirmungsgrad: 70 %), Bestandesbäume.

Ø $i_{r,3}$	Esche			Bergahorn		
	bei 60 Z-Bäume/ ha	bei 80 Z-Bäume/ ha	bei 100 Z-Bäume/ ha	bei 60 Z-Bäume/ ha	bei 80 Z-Bäume/ ha	bei 100 Z-Bäume/ ha
	Baumalter [J]			Baumalter [J]		
2	54	45	39	54	45	39
3	32	27	24	33	28	24
4	23	19	17	24	20	17
5	18	15	13	19	16	14

Entscheidungshilfe B - Baumzahlen pro Hektar

Die Konzeption einer Entscheidungshilfe als **Baumzahlleitkurve** kann zwar verschiedene Zielvorstellungen darstellen, berücksichtigt jedoch nicht unterschiedliche Ausgangslagen und stellt auch keine Vorschläge zur Auswahl, wie ein konkreter Ausgangsbestand auf eine in der Baumzahlleitkurve beschriebene Situation hin gesteuert werden kann (vgl. ABETZ 1975, KENK 1979, OSWALD 1981, HOCHBICHLER & KRAPPENBAUER 1988). Damit erfüllt sie die in Kapitel 1.2 dargestellte Unterscheidung nach Ziel- und Zustandsorientierung nicht vollständig. Zwar können Ziele verfolgt werden, die Anpassung an die aktuelle Ausgangslage bleibt dagegen ungenügend, da nicht klar wird, wie eine Annäherung an die vorgegebene Baumzahlhaltung stattfinden kann. Da sich jedoch die Bestandespflege in der forstbetrieblichen Praxis oftmals an Baumzahlen orientiert, wird im Folgenden für vier verschiedene Varianten des Radialzuwachses die Dynamik der Baumzahlentwicklung über dem durchschnittlichen Brusthöhendurchmesser dargestellt (Abbildung 6-5):

Generell sinkt mit zunehmendem Brusthöhendurchmesser die Baumzahl pro Hektar. Mit zunehmendem durchschnittlichem Radialzuwachs liegt bei einem bestimmten Brusthöhendurchmesser aufgrund der dynamischeren Kronenentwicklung die Baumzahl pro Hektar niedriger. Entsprechend den Ergebnissen zur Kronenbreitenentwicklung wird auch hier in der Baumzahlentwicklung unabhängig von Überschirmungsgrad und Radialzuwachsvariante der Unterschied zwischen Esche und Bergahorn deutlich. Der Bergahorn erreicht einen bestimmten Schaftdurchmesser mit einer kleineren Krone. Dadurch werden höhere Stammzahlen möglich als bei der Esche.

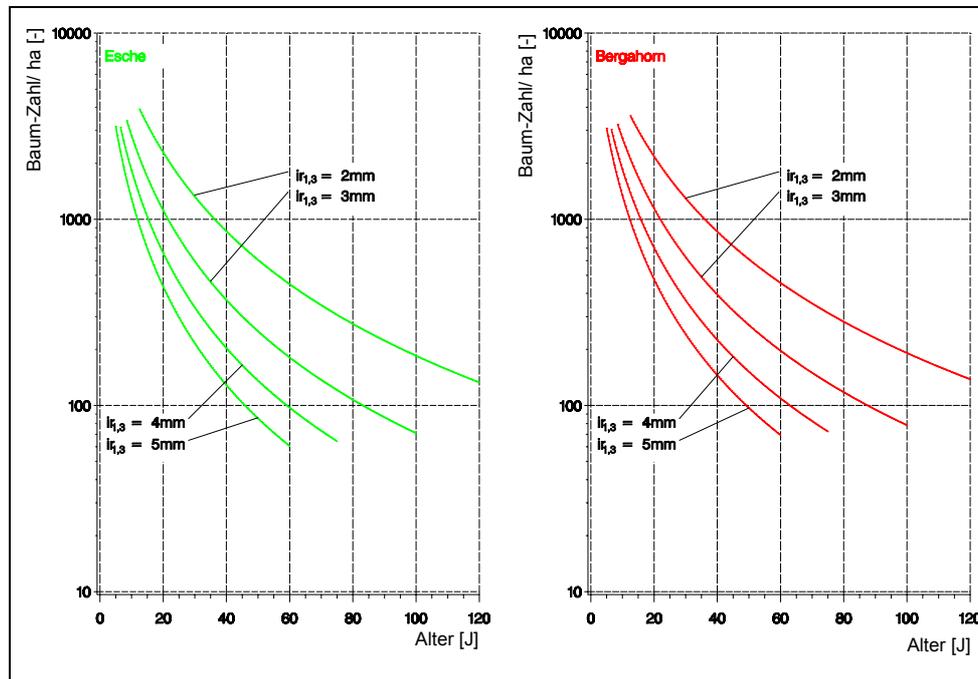


Abbildung 6-5: Entwicklung der Baum-Anzahl/ ha für verschiedene Radialzuwachsvarianten für Esche (links) und Bergahorn (rechts) (Überschirmungsgrad: 70 %), Bestandesbäume.

Entscheidungshilfe C – Baumabstände:

Aus den Ergebnissen zur Baumzahlhaltung kann mit der vereinfachenden Unterstellung einer Baumverteilung in einem regelmäßigen Dreiecksverband der **durchschnittliche Baumabstand** hergeleitet werden (Tabelle 6-9:). Mit zunehmendem Brusthöhen-durchmesser werden größere Baumabstände notwendig, wenn ein bestimmter durchschnittlicher Radialzuwachs aufrechterhalten werden soll. Bei gleichem Brusthöhen-durchmesser wird für einen steigenden durchschnittlichen Radialzuwachs entsprechend der dynamischeren Kronenbreitenentwicklung ein größerer Baumabstand notwendig. Entsprechend den Ergebnissen zum Einfluss des Standorts auf den Zusammenhang zwischen Kronenbreite, Brusthöhendurchmesser und Alter (vgl. Kapitel 5.1.1), muss hier noch einmal darauf hingewiesen werden, dass auch die vorgestellten Baumabstände standortsunabhängig verwendet werden können. Eine Entscheidungshilfe in Form von Baumabständen bietet jedoch keine Antwort auf die Frage, in welchem zeitlichen Rahmen bei abweichender Ausgangslage die vorgegebenen Abstände erreicht werden sollen und wann Zuwachsreaktionen zu erwarten sind.

Tabelle 6-9: Durchschnittliche Baumabstände bei verschiedenen Radialzuwachsvarianten und Brusthöhendurchmessern der Z-Bäume für Esche und Bergahorn (Überschirmungsgrad: 70 %), Bestandesbäume.

Esche											
Durchschnittlicher Baumabstand [m]											
\emptyset $ir_{1,3}$ [mm]	$d_{1,3} =$ 10 cm	$d_{1,3} =$ 15 cm	$d_{1,3} =$ 20 cm	$d_{1,3} =$ 25 cm	$d_{1,3} =$ 30 cm	$d_{1,3} =$ 35 cm	$d_{1,3} =$ 40 cm	$d_{1,3} =$ 45 cm	$d_{1,3} =$ 50 cm	$d_{1,3} =$ 55 cm	$d_{1,3} =$ 60 cm
2	2,6	3,5	4,4	5,2	6,1	7,0	7,9	8,8	9,7	10,5	11,4
3	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	8,8	9,7	10,8	11,7	12,8
4	2,9	4,0	5,0	6,1	7,1	8,2	9,2	10,3	11,2	12,4	13,3
5	3,0	4,1	5,2	6,2	7,3	8,4	9,5	10,6	11,7	12,7	13,8

Bergahorn											
Durchschnittlicher Baumabstand [m]											
\emptyset $ir_{1,3}$ [mm]	$d_{1,3} =$ 10 cm	$d_{1,3} =$ 15 cm	$d_{1,3} =$ 20 cm	$d_{1,3} =$ 25 cm	$d_{1,3} =$ 30 cm	$d_{1,3} =$ 35 cm	$d_{1,3} =$ 40 cm	$d_{1,3} =$ 45 cm	$d_{1,3} =$ 50 cm	$d_{1,3} =$ 55 cm	$d_{1,3} =$ 60 cm
2	2,6	3,5	4,4	5,2	6,1	6,9	7,8	8,6	9,5	10,3	11,2
3	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5	7,5	8,4	9,3	10,3	11,2	12,1
4	2,9	3,9	4,8	5,8	6,8	7,8	8,7	9,7	10,7	11,7	12,6
5	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,9	9,9	10,9	11,9	12,9

In dieser Form der Darstellung einer Entscheidungshilfe werden die zuvor schon geschilderten Unterschiede zwischen Esche und Bergahorn nur bei größeren durchschnittlichen Radialzuwachsen und höheren Brusthöhendurchmessern sichtbar. Für einzelbaumweise Mischungssituationen von Esche und Bergahorn lässt sich der mittlere Baumabstand zwischen beiden Baumarten als arithmetisches Mittel zwischen den entsprechenden Abständen für Esche und Bergahorn berechnen.

Entscheidungshilfe D - Mindestabstandsregel:

Aus den Ergebnissen zu Baumzahlhaltung kann mit der vereinfachenden Unterstellung einer Baumverteilung in einem gleichmäßigen Dreiecksverband der durchschnittliche Baumabstand hergeleitet werden. Es lässt sich eine **Mindestabstandsregel** als Faustformel berechnen (vgl. auch KRAJICEK et al. 1961, SPIECKER & SPIECKER 1988, SPIECKER 1994, ARMAND 1995). Mit einer solchen Abstandsregel kann ein Mindestabstand bestimmt werden, innerhalb dessen sich keine Bedränger des Z-Baumes befinden dürfen, wenn ein bestimmtes Radialzuwachs-niveau aufrecht erhalten werden soll (Tabelle 6-10:). Dabei wird der Brusthöhendurchmesser in Zentimeter mit einer Abstandszahl multipliziert, um den Mindestabstand zu berechnen. Aufgrund der hier gezeigten Zusammenhänge zwischen Kronenbreitenentwicklung, Brusthöhendurchmesser und Baumalter ist diese Abstandszahl jedoch für bestimmte Radialzuwachsvarianten nicht ganz konstant. Denn da der Interzept des oben genannten Zusammenhangs insbesondere bei Bäumen in jungem Entwicklungsstadium und damit kleiner Krone sich besonders stark auf die Kronenbreite und damit die Abstandszahl, ist auch die Abstandszahl nicht vollständig konstant. Ein durchgängiges Einhalten einer Abstandszahl von beispielsweise 24 (Esche, $ir_{1,3} = 4 - 5$ mm) wird deshalb beispielsweise bei kleineren Brusthöhendurchmessern zu einer etwas schwächeren Freistellung und damit einer leicht kleineren Krone führen. Aus der Sicht der Astreinigung

(vgl. Kapitel 4) sowie zur Gewährleistung eines hohen Durchmesserzuwachses erscheint dies durchaus sinnvoll.

Tabelle 6-10: Faustformel zur Berechnung eines Mindestbaumabstandes als Entscheidungshilfe für die Steuerung des Dickenwachstums bei Esche und Bergahorn, abgeleitet aus dem Kronenbreitenmodell, Überschirmungsgrad: 70 %, Bestandesbäume.

$\varnothing ir_{1,3}$ [cm]	$d_{1,3}$ [cm] * Abstandszahl = Mindestabstand [cm]	
	Esche	Bergahorn
2 – 3	$d_{1,3} * 22$	$d_{1,3} * 21$
4 – 5	$d_{1,3} * 24$	$d_{1,3} * 23$

Entscheidungshilfe E - Dimensionsquotient:

Nach ARMAND (1995) kann das Verhältnis von Kronenbreite und Brusthöhdurchmesser, das sogenannte Ausladungsverhältnis ($b_{Kr}/d_{1,3}$), als ein **Dimensionsquotient** verwendet werden, der als eine Entscheidungshilfe zur Feststellung der Durchforstungsnotwendigkeit gebraucht werden kann. Zur Berechnung des Ausladungsverhältnisses kann die Kronenbreite geschätzt, der Brusthöhdurchmesser gemessen werden. Als Berechnungsgrundlage dient die Längeneinheit Zentimeter. ARMAND (1995) empfiehlt für Esche und Bergahorn zu Erhaltung eines konstant hohen Durchmesserzuwachses von ca. 8 bis 10 mm Werte von 20 einzuhalten. Die im vorigen Abschnitt getroffenen Aussagen zur Konstanz der Abstandszahl sind auch für den Dimensionsquotienten gültig: beispielsweise sinkt für Esche bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 4 mm dieser Dimensionsquotient von 24,5 bei einem Brusthöhdurchmesser des Z-Baumes von 10 cm auf 18,7 bei einem Brusthöhdurchmesser von 60 cm ab (Bergahorn: von 24,2 bei 10 cm zu 17,6 bei 60 cm). Da jedoch eine Verhältniszahl bei der Entscheidung über die Durchforstungsnotwendigkeit im Bestand praxisnah nicht ganz genau zu bestimmen ist, wird in Tabelle 6-11: eine entsprechende vereinfachte Entscheidungshilfe vorgestellt. Als Dimensionsquotient wurde ein mittleres Ausladungsverhältnis für die Radialzuwachsgruppen 2 bis 3 mm sowie 4 bis 5 mm berechnet.

Es muss dabei jedoch berücksichtigt werden, dass dies Ausladungsverhältnisse sind, die bei einem Brusthöhdurchmesser von 30 cm entstehen. Bei einem Brusthöhdurchmesser von 10 cm ergeben sich um ca. 2 bis 5 Einheiten höhere Werte. Ein durchgängiges Einhalten eines Ausladungsverhältnisses von beispielsweise 20 wird deshalb beispielsweise bei kleineren Brusthöhdurchmessern zu einer etwas schwächeren Freistellung und damit einer leicht kleineren Krone führen. Aus der Sicht der Astreinigung (vgl. Kapitel 4) sowie zur Gewährleistung eines hohen Durchmesserzuwachses erscheint dies durchaus sinnvoll. Die hier vorgestellte Entscheidungshilfe weist prinzipielle Übereinstimmung mit den von ARMAND (1995) genannten Werten auf. Zusätzlich konnte eine Differenzierung nach der Baumart und eine Präzisierung zum Niveau des Dimensionsquotienten sowie zu seinem Verlauf erreicht werden.

Tabelle 6-11: Ausladungsverhältnisse (Dimensionsquotient: Kronenbreite [cm]/Brusthöhendurchmesser [cm]) für verschiedene Radialzuwachsvarianten als Entscheidungshilfe zur Steuerung des Dickenwachstums bei Esche und Bergahorn abgeleitet aus dem Kronenbreitenmodell, vereinfachend wurde ein mittleres Ausladungsverhältnis für die Radialzuwachsgruppen 2 bis 3 und 4 bis 5 mm berechnet, Bestandesbäume.

\varnothing $i_{r,3}$ [cm]	Ausladungsverhältnis ($b_K / d_{1,3}$) [cm/cm]	
	Esche	Bergahorn
2 – 3	18	18
4 – 5	20	19

Im Bezug auf die in Kapitel 1.2 dargestellte Unterscheidung nach Ziel- und Zustandsorientierung der Entscheidungshilfen erfüllen die beiden zuletzt vorgestellten das Kriterium nach Anpassung an die aktuelle Ausgangslage. Je nach bisherigem Ausladungsverhältnis und damit durchschnittlichem Radialzuwachs kann eine Anwendung der Entscheidungshilfe erfolgen. Bezüglich der Zielvorstellungen können durch die Verwendung einer von der vorgegebenen Konstanten abweichenden Zahl variable Zielsetzungen hinsichtlich Produktionszeit und folglich Zieldurchmesser erreicht werden.

Auch in der Darstellung der Entscheidungshilfe in Form einer Abstandsregel und eines Dimensionsquotienten werden die gleichen zuvor schon geschilderten **Unterschiede zwischen beiden Baumarten** Esche und Bergahorn deutlich. Da bei der Bestimmung eines Dimensionsquotienten in der Praxis wahrscheinlich Schätzungen verwendet werden, ist jedoch zu erwarten, dass sich mit dieser Form der Entscheidungshilfe die baumartenspezifischen Unterschiede bei der Festlegung einer Durchforstungsstärke kaum bemerkbar machen dürften.

6.3 FORMULIERUNG VON PRODUKTIONSZIELEN

Zu den zentralen Zielvorstellungen bei der Produktion von Wertholz gehören Angaben zu **Zieldimension, zur Qualität sowie Vorgaben zum zeitlichen und räumlichen Bezug**. Im Folgenden sollen die rechnerischen Zusammenhänge zwischen diesen einzelnen Elementen eines Produktionsziels aufgezeigt werden. In den nachfolgenden Abschnitten werden dann mögliche Entwicklungswege zu diesen Zielen dargestellt. Dabei wird kein festgelegtes Produktionsziel empfohlen, sondern Entscheidungsträgern sollen entsprechend ihren gesamtbetrieblichen Zielsetzungen und konkreten Ausgangslagen Wahlmöglichkeiten eröffnet werden.

Anhand der statistischen Beziehungen zwischen der Kronenbreite, dem Brusthöhendurchmesser und dem Baumalter (vgl. Gleichung 5 in Kapitel 5.1.1) sowie der astfreien Schaftlänge, der Baumhöhe, dem Brusthöhendurchmesser und dem Baumalter (vgl. Gleichung 4 in Kapitel 4.3.1) können die einzelnen Zielelemente abgeleitet werden. Für einen gewünschten **Zieldurchmesser** können so die angestrebte **astfreie Schaftlänge**, die

Produktionszeit und die **Z-Baum Anzahl pro Hektar**⁴³ ermittelt (Tabelle 6-12:) und veranschaulicht werden (Abbildung 6-6:).

Tabelle 6-12: Zusammenhang zwischen Zieldurchmesser, durchschnittlichem Radialzuwachs, Produktionszeit, Z-Baum Anzahl und astfreier Schaftlänge für Esche und Bergahorn, Höhenbonität Esche: 33 m; Höhenbonität Bergahorn: 30 m - vgl. Kapitel 4.1.1), Überschirmungsgrad: 70 %, Bestandesbäume.

	Zieldurchmesser [cm]	Durchschnittlicher Radialzuwachs [mm/ J]	Produktionszeit [J]	Anzahl Z-Bäume/ ha [-]	Astfreie Schaftlänge [m]
Esche	60	2	150	88	-
		3	100	71	20,3
		4	75	64	16,0
		5	60	61	12,8
	50	2	125	123	-
		3	83	99	19,2
		4	63	90	15,1
		5	50	85	12,0
Bergahorn	60	2	150	92	-
		3	100	78	14,4
		4	75	72	11,8
		5	60	69	9,7
	50	2	125	128	-
		3	83	109	14,2
		4	63	101	11,6
		5	50	97	9,6

Für die vorliegende Berechnung wurde ein Höhenwachstum entsprechend dem in der vorliegenden Arbeit erstellten Höhenbonitätsfächer für Esche (Höhenbonität 33 m) und Bergahorn (Höhenbonität 30 m) unterstellt. Die Berechnung der Z-Baumzahl pro Hektar beruht auf der Annahme der Baumverteilung in einem regelmäßigen Dreiecksverband und einem Überschirmungsgrad von 70 % für beide Baumarten⁴⁴.

Die in Tabelle 6-12: berechneten Werte zeigen ein breites Spektrum an möglichen Zielvorstellungen auf. Aufgrund ökonomischer Überlegungen berechnete Produktionszeiten können je nach Marktsituation und betriebsindividuellen Zielsetzungen davon abweichen. Auffällig ist jedoch die Tatsache, dass bei schnellem Durchmesserwachstum (z.B. mittlere jährlicher Radialzuwachs von 5 mm) bereits mit einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Bäumen eine Vollbestockung zum Zeitpunkt des Erreichens eines Zieldurchmessers von 60 cm erreicht werden kann. Dies stimmt gut mit Untersuchungen zur Kronenexpansion und Dickenwachstum an weitständig erwachsenen Eichen von HUMMEL (1951) und

⁴³ Als vereinfachende Modellannahme zur Berechnung von Baumzahlen pro Hektar wurde hier davon ausgegangen, dass die Nachbarschaftsverhältnisse einem regelmäßigen Dreiecksverband entsprechen. Die Projektionsfläche eines Baumes kann demnach als regelmäßiges Sechseck berechnet werden.

⁴⁴ Detaillierte Ergebnisse zum Überschirmungsgrad auf den Untersuchungsflächen finden sich bei THIES (2003), von dem auch die Ermittlung des Überschirmungsgrades durchgeführt wurde. Eine ausführliche Diskussion von Einfach- und Mehrfachüberschirmungen im Rahmen von Strukturanalysen in Buchen-Edellaubbaum-Mischbeständen bietet (NÜBLEIN 1995).

OSWALD (1981) überein. Auch JOBLING & PEARCE (1977) prognostizierten, dass 62 Eichen ausreichen, um bei voller Bestockung einen Zieldurchmesser von 60 cm in 90 Jahren erreichen zu können. Vergleichbare Angaben zu Esche und Bergahorn waren bislang nicht vorhanden.

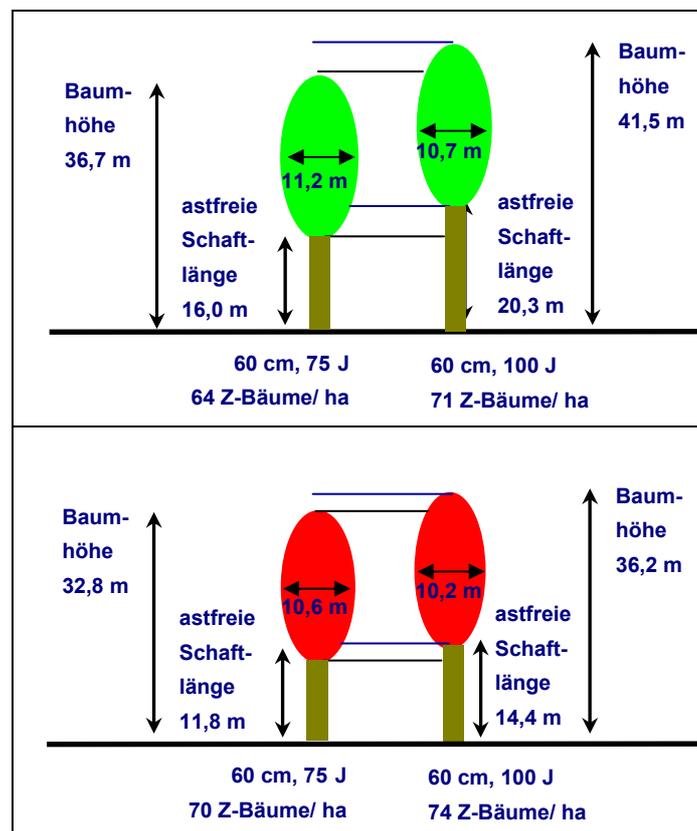


Abbildung 6-6: Mögliche Zieldimensionen für Esche und Bergahorn auf sehr gutem Standort, Esche, oben: Höhenbonität 33m; Bergahorn, unten: Höhenbonität 30 m, Bestandesbäume.

Beim **Vergleich der beiden Baumarten** wird deutlich, dass für einen gleichen Zieldurchmesser bei einer bestimmten Radialzuwachsvariante die Esche eine etwas größere Krone benötigt als der Bergahorn. Die Unterschiede in der astfreien Schaftlänge können nur unter Berücksichtigung des deutlich unterschiedlichen Höhenwachstums beider Baumarten erfolgen.

Im Fall der Esche muss auch berücksichtigt werden, dass das Erreichen der Zielsetzungen mit dem **Risiko des Auftretens von Braunkern** verbunden ist. Nach Untersuchungen von THILL (1975) und KERR (1998) tritt der Braunkern mit zunehmendem Alter des Baumes auf (s. auch Kapitel 1.1). Nach der europäischen Norm EN1316-3 liegt ab einem Ausmaß von 20 % des Stammdurchmessers ein sortierungswirksames Merkmal vor, das die Zuordnung in die Qualitätsklasse B verlangt (C: 30 %). Aus diesem Grunde ist

ein frühzeitiges Erreichen der Zieldimension durch frühzeitige und starke Standraumerweiterungen notwendig. Deshalb, aber auch wegen der stark abnehmenden Fähigkeit der Esche, in höherem Alter freiwerdenden Kronenraum zu besetzen und damit hohe Durchmesserzuwächse zu erreichen, empfehlen zahlreiche Autoren starke Standraumerweiterungen bereits in jungen Entwicklungsstadien, um das Dickenwachstum zu fördern (THILL 1975, SCOHY 1990a, SCOHY 1990b, KERR & EVANS 1993, DUFLOT 1995, JOYCE et al. 1998). Dabei muss jedoch auf sehr lange astfreie Schaftlängen verzichtet werden.

Ein weiteres Risiko stellt das Auftreten von Sekundärästen dar. Die baumart-spezifischen Unterschiede im Ausbilden von Sekundärästen weisen auf eine größere Disposition des Bergahorns gegenüber dem Auftreten von Sekundärästen hin. Die Ergebnisse weisen tendenziell auf höhere Sekundärastdichten bei geringerer sozialer Klasse, geringerem durchschnittlichem Radialzuwachs und geringerer Kronenlänge hin. Diese Ergebnisse sind jedoch vorläufiger Natur und bedürfen weiterer Absicherung, beispielsweise durch die Analyse der Absterbedynamik und des Auftretens von Sekundärästen nach Freistellungen.

In Abhängigkeit vom durchschnittlichen Radialzuwachs wird ein angestrebter Zieldurchmesser oder eine astfreie Schaftlänge in einer entsprechenden Produktionszeit erreicht. Damit ist jedoch (vgl. Kapitel 4.3.3) im kronennahen Bereich der astfreien Schaftlänge der astfreie Mantel relativ dünn und erreicht nicht mehr die geforderte Stärke von beidseits 1/3 des Schaftdurchmessers. Zudem kann das Absterben stärkerer Äste in diesem Schaftbereich mit Verfärbungen oder dem Eindringen von Fäule in den Schaft verbunden sein. Eine Möglichkeit, das Fortschreiten der Astreinigung zu stoppen, ist die Anwendung eines **zweiphasigen Pflegekonzeptes** (vgl. OSWALD 1981, SPIECKER 1991, WILHELM et al. 1999a, WILHELM et al. 1999b, WILHELM et al. 1999c). Dabei wird in der ersten Phase der Schwerpunkt der Wachstumssteuerung auf die Astreinigung und Sicherung weiterer Qualitätsparameter – bei reduziertem Durchmesserwachstum – gelegt, in der zweiten Phase wird mit der Auswahl der Z-Bäume das Hochrücken der astfreien Schaftlänge gestoppt und das Dickenwachstum beschleunigt. Am Übergang der ersten zur zweiten Phase findet die **Z-Baum Auswahl** statt, sobald die angestrebte astfreie Schaftlänge erreicht ist. Da die Dynamik der Astreinigung vom Höhenwachstum abhängt, spiegelt der Zeitpunkt der Z-Baum Auswahl auch die standörtlichen Verhältnisse wider. Aufgrund des schnellen Höhenwachstums von Esche und Bergahorn wird dieser Zeitpunkt generell frühzeitig erreicht. Da die Höhenzuwächse beider Baumarten früh kulminieren (z.B. KJÖLBY et al. 1958, VOLQUARDTS 1958, NAGEL 1985), siehe auch Kapitel 4.1.1) und bereits ab 30 bis 40 Jahren stark nachlassen, muss eine Freistellung auch frühzeitig erfolgen, um eine Förderung des Dickenwachstums noch erreichen zu können. Entsprechende Empfehlungen zur frühzeitigen Förderung des Dickenwachstums unter Verzicht auf höchste astfreie Schaftlängen und gegebenenfalls kombiniert mit Ästung wurden bislang von THILL (1975), SCOHY (1990a), SCOHY (1990b) sowie DUFLOT (1995) ausgesprochen.

Anhand der Ergebnisse zum Dickenwachstum von Solitären kann nun auch eine **Abschätzung des Durchmesserentwicklung** des Schaftes erfolgen: wird bei der Esche auf Standorten der Höhenbonität 33 m ein durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm

eingehalten, so wird eine astfreie Schaftlänge von beispielsweise 10 m in 27 Jahren erreicht (Abbildung 6-7: oben, für Esche sowie Abbildung 6-8: oben, für Bergahorn).

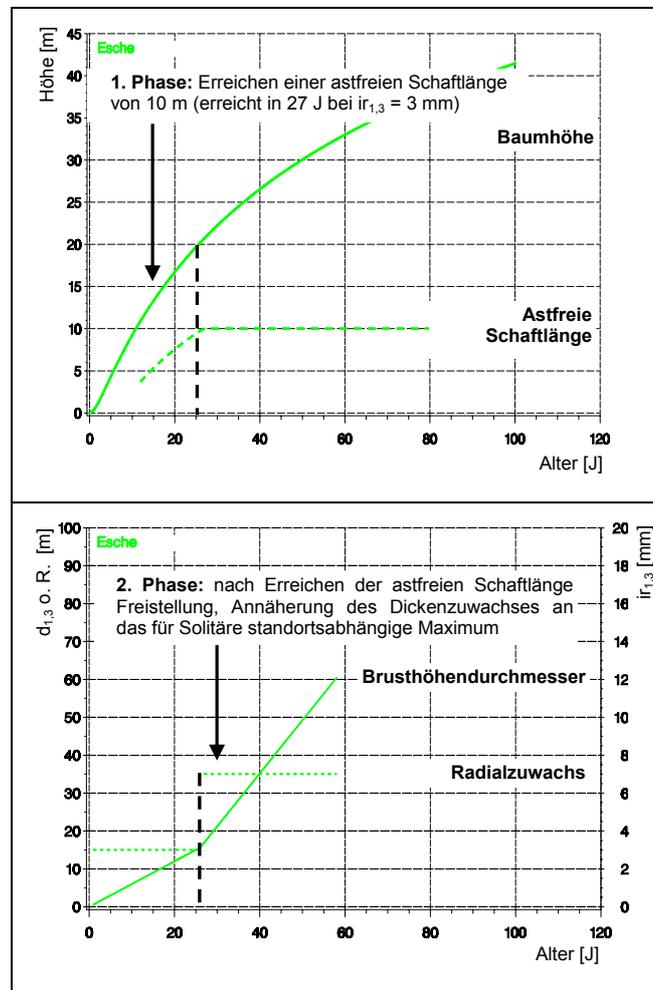


Abbildung 6-7: Zweiphasiges Pflegekonzept für Esche: **1. Phase** (oben): Erreichen einer bestimmten astfreien Schaftlänge – hier beispielsweise 10 m, durchschnittlicher Radialzuwachs 3 mm, Höhenbonität 33 m. **2. Phase** (unten): keine weitere Astreinigung, Förderung des Dickenwachstums durch Freistellung, infolgedessen Annäherung des Radialzuwachses an einen standörtlich maximalen Wert (vgl. Dickenwachstum von Solitären).

Mit dem Erreichen dieser astfreien Schaftlänge ist die erste Phase im zweiphasigen Pflegekonzept abgeschlossen. In der zweiten Phase soll diese astfreie Schaftlänge beibehalten werden. Danach erfolgt eine Freistellung des ausgewählten Baumes und damit auch eine starke Förderung des Dickenwachstums. Dadurch ist ein Ansteigen des Radial-

zuwachsen zu erwarten, der im Extremfall das für Solitäre vorstellbare Maximum erreichen kann.

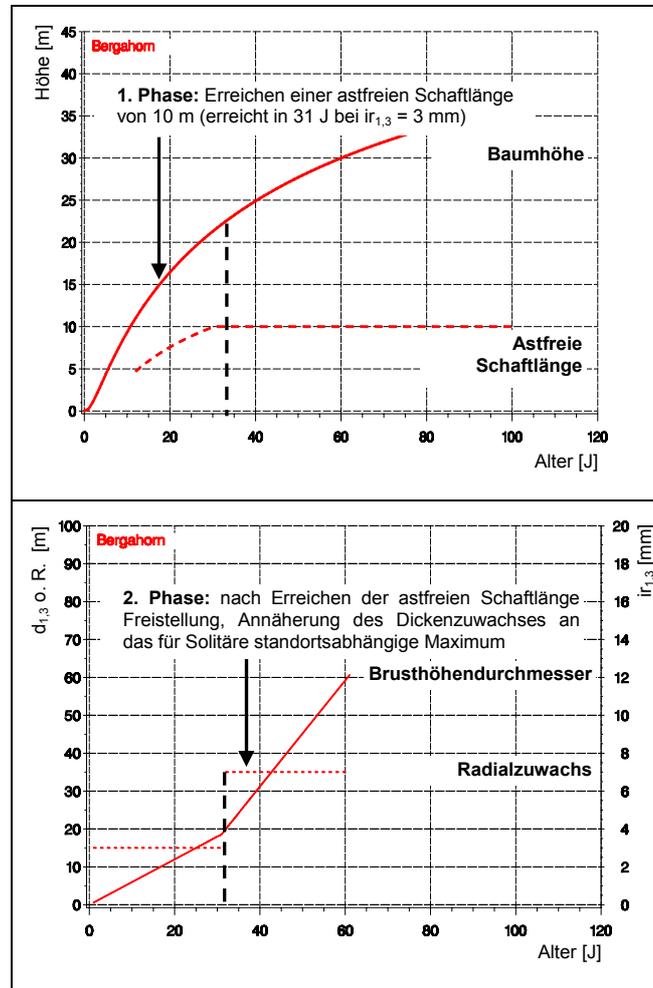


Abbildung 6-8: Zweiphasiges Pflegekonzept für Bergahorn: **1. Phase** (oben): Erreichen einer bestimmten astfreien Schaftlänge – hier beispielsweise 10 m, durchschnittlicher Radialzuwachs 3 mm, Höhenbonität 30 m). **2. Phase** (unten): keine weitere Astreinigung, Förderung des Dickenwachstums durch Freistellung, infolgedessen Annäherung des Radialzuwachses an einen standörtlich maximalen Wert (vgl. Dickenwachstum von Solitären).

Anhand der Überlegungen zum Dickenwachstum von Solitären (vgl. Kapitel 5.2.4) wird ein Radialzuwachs von 7 mm (Esche und Bergahorn) als ein standörtliches Maximum auf überdurchschnittlichen Standorten angenommen (Abbildung 6-7: unten, für Esche sowie Abbildung 6-8: unten, für Bergahorn). Offen bleibt allerdings, in welchem Zeitraum eine solche Zuwachssteigerung von 3 mm auf 7 mm erfolgen kann. Auch unerwünschte

Wachstumsreaktionen wie ein starkes Auftreten von lebenden Sekundärästen oder temporäre Zuwachsrückgänge aufgrund der Freistellung in Kombination mit entsprechenden Witterungsbedingungen sind zu berücksichtigen. Abbildung 6-7: und Abbildung 6-8: haben deshalb einen prinzipiellen und schematischen Charakter.

Folgt die Wachstumssteuerung dem oben vorgestellten zweiphasigen Pflegekonzept, wird ein Zieldurchmesser von 60 cm in einer Produktionszeit von 58 Jahren (Esche) und 61 Jahren (Bergahorn) erreicht. Anhand der hier vorgestellten Modelle können entsprechende Berechnungen für verschiedene Höhenbonitäten und verschiedene Produktionsziele durchgeführt werden. Die innere Ästigkeit eines Baumes, der in der ersten Pflegephase mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm gewachsen ist und danach in der Phase der Förderung des Dickenwachstums stark freigestellt wurde, ergibt sich aus Abbildung 6-9:.

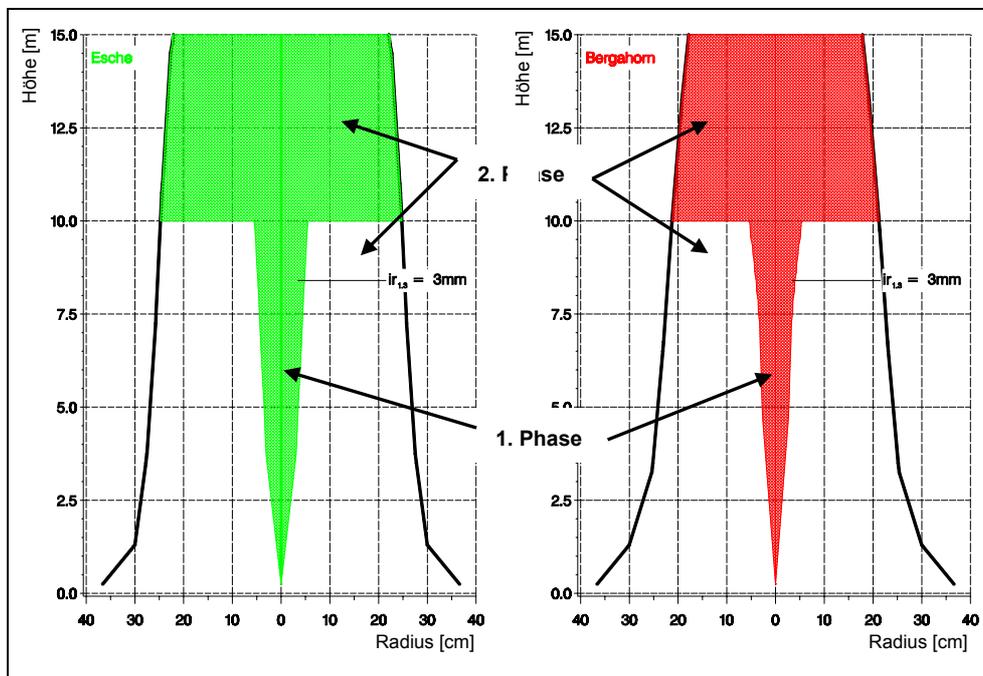


Abbildung 6-9: Schematische Darstellung des asthaltigen Kerns bei einem zweiphasigen Pflegekonzept für die Höhenbonitäten 30 m (Esche, links) und 24 m (Bergahorn, rechts). **1. Phase:** Astreinigung, durchschnittlicher Radialzuwachs von 3 mm bis Erreichen einer astfreien Schaftlänge von 10 m; **2. Phase:** keine weitere Astreinigung, Förderung des Dickenwachstums, Anhalten der astfreien Eschaftlänge, Annäherung des Dickenwachstums an den standörtlich möglichen Maximalwert.

Die hier geschilderten Wachstumsgesetzmäßigkeiten lassen sich auch für **agroforstliche Bewirtschaftungssysteme** verwenden (vgl. RAPEY 1994, CULLETON et al. 1996): Einzelbäume auf Weiden, landwirtschaftlichen Grenzertragsböden oder landwirtschaftlich unrentablen Kleinflächen können neben den Zielen, Schatten zu spenden oder landschafts-

pflegerische Funktionen zu erfüllen, auch zur Produktion von Wertholz genutzt werden (BUDD et al. 1990, NAIR 1993, INCOLL et al. 1997). Dabei kann der Zusammenhang zwischen Kronenexpansion und Dickenwachstum als Entscheidungshilfe für die im Zeitablauf zu erwartenden Kronendimensionen und Schaftqualität dienen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass freistehende Einzelbäume den für Solitäräumen typischen Wachstumsmustern folgen. Insbesondere eine Anwendung der Gesetzmäßigkeiten zur Kronenexpansion von Bestandesbäumen würde zu systematischen Unterschätzungen führen.

Mit den Modellen zur Kronenbreite und Kronenansatzhöhe von Solitären kann eine Berechnung der „absoluten Untergrenze“ von Z-Baumzahlen in einem **virtuellen Solitärbestand** vorgenommen werden (vgl. Kapitel 5.1.3). Bei einem Zieldurchmesser von 60 cm ist eine Kronenbreite der Esche von 14,0 m (Bergahorn: 12,7 m) zu erwarten. Mit einem Überschirmungsgrad von 70 % ist danach eine Z-Baumzahl für Esche von 45 (Bergahorn: 56) zu erwarten (Tabelle 6-13:).

Tabelle 6-13: Kennzahlen von Eschen- und Bergahornsolitären in einem virtuellen Solitärbestand (Überschirmungsgrad: 70%).

	Esche	Bergahorn
Brusthöhendurchmesser: [cm]	60	60
Kronendurchmesser: [m]	14,0	12,7
Kronenschirmfläche: [m]	154,1	125,7
N/ ha: [-]	45	56
$i_{r,3}$: [mm]	7,0	7,0
Baumalter: [J]	43	43
Höhe des Kronenansatzes: [m]	2,6	1,9
Baumhöhe: [m]	28	26
rel. Kronenlänge: [%]	90,7	92,7

Eschen- und Bergahornsolitäre dieser Dimension decken eine modellhafte Kronenschirmfläche von 154,1 m² ab (Bergahorn: 125,7 m²). Unterstellt man einen durchschnittlichen Radialzuwachs von 7,0 mm der Eschen- und Bergahornsolitäre (jeweils überdurchschnittlicher Standort, vgl. Abbildung 5-11:), so werden Brusthöhendurchmesser von 60 cm in 43 Jahren erreicht. Bei Eschen- und Bergahornsolitären ist dabei eine Kronenansatzhöhe von 2,6 m (Bergahorn: 1,9 m) zu erwarten. Für eine Baumhöhe der Eschen von beispielsweise 28 m auf sehr guten Standorten (Bergahorn: 26 m, vgl. Abbildung 4-3:) kann danach eine relative Kronenlänge von 90,7 % für Eschen beziehungsweise von 92,7 % für Bergahorne erwartet werden. Damit ist eine Grenze des Wachstums unter der Zielsetzung ableitbar, maximale Kronenexpansion und maximales Durchmesserwachstum zu erreichen.

Die von FREISE & SPIECKER (1999) vorgeschlagene Vorgehensweise zur Berechnung der Z-Baum-Anzahl eines virtuellen Solitärbestandes wurde hier nicht angewendet, da eine Schätzung der zugrundezulegenden Modellannahmen mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Dies gilt besonders für den Plumpeitsgrad – vgl. Abbildung 5-5: – aber auch für die zu erwartende Endhöhe von Solitären.

7 DISKUSSION

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die angewandten Methoden, das zugrundeliegende Material sowie die Ergebnisse zur Dynamik der Astreinigung und des Dickenwachstums einschließlich verschiedener Entscheidungshilfen vorgestellt. Dieses bisher verwendete Gliederungssystem liegt auch der nun folgenden Diskussion zugrunde. In den Vordergrund rückt jedoch hier anstelle einer getrennten Präsentation der Einzelthemen eine synoptische Betrachtung. Dabei werden die verwendeten Methoden und das Material vor dem Hintergrund der angestrebten Zielsetzungen beurteilt und zugleich wird die Frage nach der material-adäquaten Verwendung der Methoden diskutiert. Die hier angewandten Methoden werden in das von anderen Autoren abgesteckte Methodensystem eingeordnet. In gleicher Weise werden die Ergebnisse dieser Arbeit in Bezug zu den Ergebnissen anderer Autoren gesetzt und weiterhin offene Fragen herausgestellt. Zusätzlich werden die Querbezüge der einzelnen thematischen Abschnitte innerhalb dieser Arbeit hervorgehoben und das Gesamtergebnis bezüglich seiner inneren Konsistenz überprüft.

7.1 DISKUSSION DER VERWENDETEN METHODEN

7.1.1 Auswahlkriterien

Die Auswahl des Untersuchungsmaterials musste **bestimmten Anforderungen hinsichtlich dem Standort und den bisherigen Pflegekonzepten** genügen (vgl. Kapitel 2.2). Die geforderte standörtliche Spreitung konnte durch das geografisch weit gestreute Aufsuchen der Untersuchungsflächen erleichtert werden. Das breite Standortspektrum erwies sich zudem auch als sehr nützlich für die der Bearbeitung der Fragestellungen zur Standortsabhängigkeit von Dickenwachstum und Astreinigung. Durch das Aufsuchen verschiedener Eschen- und Bergahornbestände an verschiedenen Orten in Europa konnte auch die angestrebte Integration von Bäumen aus unterschiedlichen Pflegekonzepten, aus Mischbeständen, aus verschiedenen Formen der Bestandesbegründung und Pflegekonzepten gut erreicht werden. Die Forderung nach Abwesenheit von unklaren Einflüssen, wie beispielsweise Bestandesränder oder Insektenschäden ließ sich gut erfüllen.

Die Anforderungen an das Untersuchungsmaterial verlangten zudem eine genaue Überprüfung des Materials, das aus anderen Datenquellen stammte (vgl. Kapitel 3.2.2). Die Integration verschiedener Datenquellen führte dabei auch zu deutlich einer unterschiedlichen Anzahl von Datensätzen für die einzelnen Fragestellungen.

Der für die **Solitäre** festgelegte Anforderungskatalog ließ bei der konkreten Auswahl der Einzelbäume noch Entscheidungsspielräume offen. Zwar war die Forderung nach der Höhe des Kronenansatzes auf 100 % des Stammumfangs unter 5 m leicht überprüfbar, die Forderung nach konkurrenzfreiem Aufwachsen beinhaltete jedoch auch einen subjektiven Aspekt. So war es möglich, dass in einigen Fällen die Höhe des Kronenansatzes auch durch das Emporwachsen des Baumes in Hecken verändert sein könnte, oder durch angrenzende landwirtschaftliche Nutzung Äste gezielt entfernt worden waren. Aus diesem Grunde wurde nach der Messung ein Eschensolitär nicht weiter in die Auswertungen miteinbezogen. Ein

weiterer Eschensolitär wurde nicht weiter ausgewertet, da aufgrund der Schaft- und Kronenform eine polykorme Jugendphase, wie sie von Weidfeldbäumen bekannt sind, für wahrscheinlich gehalten wurde.

7.1.2 Datenerhebung am stehenden Baum

Die Messung des **Schaftdurchmessers in Brusthöhe** mit dem Umfangmaßband hat nach Untersuchungen von MÜLLER (1957), MÜLLER (1958a), MÜLLER (1958b) nur eine sehr geringe, aber systematische Überschätzung im Vergleich zur Klappung zur Folge. Da zusätzlich jedoch auf diese Weise eine geringere Streuung zu erwarten ist, wurde für die vorliegenden Untersuchungen dieses Verfahren verwendet. Die für die Datenerhebung am stehenden Baum vorgesehenen wachstumkundlichen Meßgeräte erwiesen sich als für die verschiedenen Meßzwecke brauchbar. **Höhenmessungen** in Beständen mit dichtem Unter- und Zwischenstand benötigten zur Absicherung einer Messung etwas höheren Zeitaufwand. Gleiches konnte durch Zwei- und Mehrfachüberschirmungen auch bei der **Kronenablotung** festgestellt werden. Aus diesem Grunde stellte die Messung in der laubfreien Jahreszeit eine Verbesserung hinsichtlich Genauigkeit und Effizienz dar. Dabei wurde immer die gesamte Krone abgelotet und nicht nur der exponierte Teil (vgl. Kapitel 2.4.1, sowie COLE (1995)). Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Definition von **Zwieseln** beruht ausschließlich auf der Durchmesserrelation zwischen der Hauptachse des Baumes, die zur Kronenspitze führt, und dem stark entwickelten Seitenast. Eine Grenze der Durchmesserrelation von 50 % wird auch von NINGRE (1997) bei Untersuchungen zur Zwieselausprägung bei Buchen verwendet. Ein weiteres von ihm verwendetes Gliederungskriterium „Länge des Seitenastes“ konnte wegen der wesentlich größeren Astlänge bei älteren Bäumen nicht verwendet werden. Eine Unterteilung der Zwiesel nach ihrer Form („U“ oder „V“-Form) entsprechend einem Vorschlag von DUFLOT (1995) und DEL FAVERO et al. (1996) wurde wegen der oft fließenden Übergänge nicht in dieser Arbeit nicht vorgenommen.

Hinsichtlich der **Definition des Kronenansatzes** muss berücksichtigt werden, dass in der vorliegenden Untersuchung der unterste grüne Primärast verwendet wurde (vgl. Kapitel 2.4.3) Dabei wurde einer Methodik von SPIECKER (1991) und NUTTO (1999) gefolgt. Weitere Definitionen zur Kennzeichnung der Höhe des Kronenansatzes an Esche und Bergahorn wurden von DEL FAVERO et al. (1996) (zusätzlich mit Mindestdurchmesser des untersten lebenden Primärastes) verwendet. Mit der in der vorliegenden Untersuchung angewandten Definition ließen sich die gesetzten Ziele ausreichend gut erreichen.

Mit der **Entnahme der Bohrkerne** aus dem jeweils maximalen und minimalen Durchmesser des Schaftes in 1,3 m Höhe standen Informationen zur Jahrringbreite zur Verfügung. Durch die Mittelbildung konnten durch Exzentrizität verursachte Variationen vermindert werden. Zugleich standen für weitere Auswertungen außerhalb der vorliegenden Arbeit Informationen zur Bildung von Reaktionsholz zur Verfügung⁴⁵. Die Berechnung des Baumalters aus den Bohrkernentnahmen nach dem von LIU (1986) beschriebenen

⁴⁵ Zur Orientierung der Bohrkernentnahme in Abhängigkeit vom Untersuchungsziel siehe auch Schweingruber (2001).

Verfahren erwies sich als notwendig, da bei nur 12 % der Bohrungen das Mark im Stammzentrum getroffen wurde. Der Vorteil dieser gegenüber der von APPLEQUIST (1958) vorgeschlagenen grafischen Vorgehensweise lag im rechnerischen Ansatz. Gegenüber der Methode von WELLS & THOMPSON (1981) kann eine systematische Unterschätzung des Baumalters bei Bohrkernen, die das Stammzentrum verfehlten, durch diesen Rechenvorgang vermieden werden (LIU 1986). Da jedoch mit dem hier angewandten Verfahren die Berechnung des Baumalters von Bäumen mit exzentrischer Marklage zu Fehlern führen kann, erfolgte jeweils eine Überprüfung der berechneten Strecke Mark-Kambium mit den Werten der Durchmessermessung in 1,3 m Schafthöhe abzüglich Rindenanteil. Im Falle von groben Fehlern erfolgte eine Korrektur (d.h. Reduktion) des nach LIU (1986) berechneten Wertes.

Die Berechnung des **Baumalters** wurde nach dem in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Verfahren durchgeführt. Damit wurde als Baumalter die Anzahl der Jahre in 0,3 m Stockhöhe und nicht die Anzahl der Jahre seit der Keimung verwendet. Auf beträchtliche Altersunterschiede von Eschen und Bergahornen mit 20 bis 30 cm Höhe als Folge von Beschattung wurde von VAN MIEGROET & LUST (1972) sowie FAUST (1963) hingewiesen. Insbesondere bei der Bonitierung ergeben sich deshalb bei jungen Bäumen größere Schätzfehler (FAUST 1963). Durch den Bezug der Altersberechnung der vorliegenden Arbeit auf eine Höhe von 0,30 m sollten übergroße Variationen des Baumalters vermindert werden. Die Alternative, das Baumalter wurde auf eine Schafthöhe von 1,3 m zu beziehen, wurde nicht verfolgt, da es bei der frühen Kulmination des Höhenzuwachses zu einem unverhältnismäßigen Verkürzen der Zeit vor der Kulmination gekommen wäre. Parallel zu der hier gewählten Vorgehensweise findet sich ein Bezug auf das Alter in 0,3 m Höhe am Schaft oder auf Forsteinrichtungsangaben, bei gleicher rechnerischer Methode der Höhenwachstumsfunktion, bei den Autoren RÖÖS (1990, für Kirsche) und NAGEL (1985, für Bergahorn).

7.1.3 Datenerhebung am liegenden Stamm

Bei der Datengewinnung am liegenden Stamm wurden zunächst Stammscheiben entnommen. Im unteren Stammteil von dicken Bäumen erwies es sich als schwierig - wie von CARMEAN (1972) und NEWBERRY (1991) gefordert - bei der **Stammscheibentnahme** exakt die Mitte zwischen zwei Quirlen zu treffen.

Die Entnahme der **überwallten Äste** war gut durchführbar. In Schaftbereichen, bei denen keine Quirle sichtbar waren, musste von einer Entnahme abgesehen werden. Aus diesem Grund war dort ein Nachvollziehen der tatsächlichen Astreinigung und das Voranschreiten des Kronenansatzes nur in Teilabschnitten des Schaftes zu rekonstruieren. Zur Vermessung der überwallten Äste im Stamminneren erwies es sich als wichtig, die Lage des überwallten Astes durch die Position der Ringnarbe auf der Schaftoberfläche genau zu erkennen und für den Längsschnitt genau zu markieren. Querschnitte durch den Schaft konnten im Vergleich zu Längsschnitten keine Verbesserung der Datierungsgenauigkeit erzielen, da die Stelle, an der das Absterben des Astes beobachtet werden konnte, von außen nicht präzise zu bestimmen war. Zu den gleichen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Ebene der Schnittführung kommt (SPATHELF 1998). Nach SCHWEINGRUBER (2001) geht dem eigentlichen

Absterbezeitpunkt eine präletale Reduktionsphase voraus, die bis zu mehreren Jahrzehnten dauern kann. Innerhalb dieser Phase können zahlreiche fehlende oder auskeilende Jahrringe auftreten (GELINSKY 1933, SCHÖPF 1954). Gegenüber dendroökologischen Studien mit höchster zeitlicher und räumlicher Auflösung des Absterbevorganges wurde in der vorliegenden Untersuchung der Absterbevorgang nicht durch weitere holzanatomische Merkmale bestimmt. Entscheidendes Kriterium war nach dem in Kapitel 2.5.2 beschriebenen Verfahren der meist unregelmäßige Verlauf des in das Astholz einmündenden letzten Jahrringes. Eine Kompartimentierung des abgestorbenen Astgewebes durch Einlagerung von Zellinhaltsstoffen als chemische Barrieren (SHIGO & MARX 1977) wurde bei dem gewählten Datierungsverfahren wegen des geringen Aussagewertes für die jahrgenaue Ermittlung des Absterbezeitpunktes nicht als weitere Entscheidungshilfe herangezogen. Eine solche Schutzsperre ist zudem bei schwacher Färbung nur mikroskopisch sichtbar (VON AUFSSESS 1975). Wiederholte Bestimmungen des Absterbezeitpunktes einzelner Äste nach dem hier gewählten Verfahren zeigten eine Genauigkeit der Bestimmung des Absterbezeitpunktes auf ± 1 Jahr.

Zur Beurteilung des hier verwendeten Verfahrens der Analyse überwallter Äste muss auch nochmals auf die methodischen Unterschiede bei der Messung der Astansatzwinkel lebender (Kapitel 2.5.1) und überwallter Äste (Kapitel 2.5.2) hingewiesen werden. Veränderungen der Astansatzwinkel beim Absterbe- und Überwallungsvorgang sowie den unterschiedlichen Messpunkten bei der Winkelmessung können Unterschiede zwischen den Astansatzwinkeln lebender und überwallter Äste verursachen. So betrug beispielsweise der durchschnittliche Astansatzwinkel der überwallten Eschenäste $63,5^\circ$ im Gegensatz zu $45,5^\circ$ der lebenden Äste (Bergahorn: $62,2^\circ$ zu $44,5^\circ$). Ob in den flacheren Ansatzwinkeln der überwallten Äste ein Hinweis auf ein Absenken der Äste im unteren Kronenbereich im Zuge des Absterbens zu sehen ist, oder eine Erscheinung des zunehmenden Astalters, bedarf weiterer Auswertungen. Eine erste orientierende Untersuchung am vorliegenden Datenmaterial ergab keinen Hinweis dazu. Die astindividuelle Variation der Ansatzwinkel überlagerte mögliche Unterschiede beträchtlich.

Es ist zusätzlich zu beachten, dass die Methodik der Vermessung überwallter Äste nur in den Schaftbereichen angewendet werden kann, wo äußere Schaftmerkmale auch Hinweise auf überwallte Äste geben. Aus diesem Grunde war hauptsächlich bei dicken Stämmen im untersten Schaftbereich keine Analyse der überwallten Äste möglich. Durch Zerstörung von überwallten Ästen - speziell mit kleinem Durchmesser - beim Aufsägen können sich zusätzlich Lücken bei der Darstellung des tatsächlichen, gemessenen asthaltigen Kerns von Einzelbäumen ergeben. Insgesamt wurden während des Auftrennens der überwallten Äste in Längsrichtung des Schaftes 6,4 % der Äste (Esche) zerstört (Bergahorn: 2,9 %).

Die Vermessung der **Triebblängenanalyse entlang der Schaftachse und an Ästen** war ohne größere Schwierigkeiten durchführbar. Auf die generelle Brauchbarkeit von Triebbasisnarben für dendroökologische Untersuchungen wird durch ROLOFF (2001a) sowie SCHWEINGRUBER (2001) hingewiesen. Letzterer Autor stellt zudem fest, dass das Alter der Triebe anhand dieser Narben in der Regel sicherer als durch Jahrringe zu datieren ist, da Pflanzen jedes Jahr einen belaubten Trieb bilden, während die Jahrringbildung unterbleiben kann. Die Triebbasisnarben als Grenzen der jährlichen Triebblängen waren entlang der Schaftachse in der vorliegenden Untersuchung bei Esche bis zu 21 Jahren und bei Berg-

ahorn mit bis zu 13 Jahren deutlich weniger lang sichtbar. Ergänzend zu SCHWEINGRUBER (2001), der die gute Erkennbarkeit der Triebbasisnarben von Ahorn bestätigt, waren in der vorliegenden Arbeit die Narben an Esche sogar sehr gut sichtbar. Nach Untersuchungen von LÖHR (1969) sowie SCHÖNE & SCHWEINGRUBER (1999) wird jedoch festgestellt, dass in ringporigen Baumarten wie Esche an sehr schattigen Standorten die Anzahl der Internodien höher als die der Jahrringe sein kann. Zudem können bei Esche und Bergahorn auch proleptische Triebe (Johannistriebe) auftreten, wenngleich dies auch weit weniger häufig eintritt als bei der Baumart Eiche (GLEISSNER 1999). Diese sind jedoch aufgrund der schwächer ausgeprägten Triebbasisnarben und den wenigen oder zum Teil sogar ausbleibenden Asttrieben gut unterscheidbar (GLEISSNER 1999). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit der grafische Vergleich des Radialzuwachsverlaufs mit den jährlichen Höhen- und Astlängenzuwächsen als sinnvolle Maßnahme zur Absicherung des Datierungserfolges den weiteren Auswertungen vorgeschaltet. Für die Höhenanalyse über die Zone der sichtbaren Triebbasisnarben hinaus erwies sich die Verwendung der höchsten am jeweiligen Quirl sichtbaren Astnarbe als gutes Kriterium zur weiteren Vermessung des jährlichen Höhenzuwachses.

Die **Berechnung der tatsächlichen jährlichen Baumhöhen** aus den Stammscheibentnahmehöhen wurde nach der Vorgehensweise von CARMEAN (1972) unter der Berücksichtigung der Anmerkungen von NEWBERRY (1991) zum letzten Höhenzuwachs durchgeführt (vgl. Kapitel 2.5.1). Im Vergleich von sechs verschiedenen Verfahren der Herleitung der tatsächlichen jährlichen Baumhöhen aus Stammanalysen erwies sich das von Carmean vorgeschlagene Verfahren als sehr genau hinsichtlich der tatsächlichen Höhenzuwächse (DYER & BAILEY 1987, FABBIO et al. 1994, KARIUKI 2002). Die dabei von CARMEAN (1972) unterstellte erste Bedingung eines gleichmäßigen Höhenzuwachses zwischen zwei Scheibentnahmehöhen kann dabei aufgrund der jährlichen Schwankungen des Höhenzuwachses a priori nicht erfüllt werden. Eine Annäherung erfolgte durch nahe beieinander liegende Entnahmehöhen. Die zweite Bedingung – Scheibentnahme exakt in der Mitte eines Höhenzuwachses – konnte im unteren Schaftbereich bei dicken Bäumen wegen der vollständigen Überwallung der abgestorbenen Äste im Zuge des Dickenwachstums nicht immer vollständig eingehalten werden.

Die **Radialzuwachsmessung der Bergahornstammscheiben** erwies sich auf Grund der schlechten Sichtbarkeit der Jahrringgrenzen durch den zerstreutporigen Jahrringaufbau und damit durch die geringen farblichen Unterschiede zwischen Früh- und Spätholz als großes Problem. Im Gegensatz zu Dünnschnitten (vgl. SCHWEINGRUBER 2001) waren bei dem hier angewendeten bildanalytischen Verfahren mit fotografischen Aufnahmen die Jahrringgrenzen nicht immer deutlich zu erkennen. Durch die Ringporigkeit des Holzes war dieses Problem bei der Esche im Allgemeinen nicht gegeben. Allenfalls in Marknähe kam es zu größeren Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Jahrringgrenzen, da dort durch die locker verteilten Poren geringerer Größe der Holzaufbau juvenilen Holzes von dem ringporigen Aufbau abwich. Ähnliche Modifikationen der Holzanatomie wurden auch bei beschatteten Eschen beobachtet, wo die Erkennbarkeit der Jahrringgrenzen durch zahlreiche regelmäßig verteilte Parenchymzellen etwas erschwert wird (SCHWEINGRUBER 2001). Zur Absicherung von Fehlдатierungen - auch durch eventuelle partielle Jahrringausfälle (vgl. NÜBLEIN 1995 für Esche und Bergahorn sowie LORIMER et al. (1999) für *Acer*

saccharum) - wurden Jahrringreferenzen erstellt, mit denen neu zu vermessende Bäume im Rahmen des crossdating verglichen wurden.

7.1.4 Berechnung des Stichprobenumfangs

Die Festlegung des Stichprobenumfangs für eine Untersuchungsfläche und für die gesamte Stichprobe beruhte einerseits auf der Variation der Zielgrößen und Zielbeziehungen, andererseits aber auch auf Überlegungen zum Zeitbedarf für die Datenerhebung vor Ort. Der **gewählte Stichprobenumfang** von 25 Bäumen pro Untersuchungsfläche erwies sich in den Untersuchungsteilen, in denen Vergleiche zwischen den Untersuchungsflächen durchgeführt wurden, für die angestrebten Gegenüberstellungen von Dimensions- und Wachstumsgrößen als geeignet. Die Ergebnisse erlaubten dabei Aussagen mit der gewünschten Sicherheit und Genauigkeit. Auch mit dem Umfang der gesamten Stichprobe konnten die angestrebten Modelle mit der gewünschten Genauigkeit berechnet werden. Ebenso konnte der Vergleich von Wachstumsunterschieden zwischen beiden Baumarten durchgeführt werden. Der insgesamt deutlich höhere Stichprobenumfang ist erklärbar durch weiteres vom Institut für Waldwachstum in die Untersuchung integriertes Datenmaterial, hauptsächlich jedoch durch die angestrebte Abdeckung eines größeren geografischen Raumes in Europa. Bei diesen Datensätzen waren jedoch nicht zu allen Messparametern Erhebungen vorhanden. Aus diesem Grunde standen sie nicht für alle Auswertungen zur Verfügung.

7.1.5 Methoden der Datenauswertung

Eine Datenerhebung in Waldbeständen stellt große Anforderungen an die verwendeten Messgeräte und das Messpersonal. Dabei auftretende Fehlerquellen müssen identifiziert und in ihrer Bedeutung beurteilt werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten **Plausibilitätsprüfungen** erwiesen sich als insgesamt den angestrebten Zielsetzungen angemessen. Kontrollmessungen bei Höhenmessungen sowie die Mitarbeit der Begleitperson bei der Bestimmung des untersten lebenden und toten Primärastes zeigten sich als sinnvolle Ergänzung zur Sicherung der Datenqualität und als präventive Maßnahme gegenüber Auswertefehlern. Die untersuchungsflächen- oder baumweise Darstellung der Rohdaten ergänzte diese Vorgehensweise. Auch der grafische Vergleich der während der Außenaufnahmen gemessenen jährlichen Höhenzuwächse mit den jährlichen Radialzuwächsen trug zur Absicherung des Datierungserfolges bei.

Die **statistischen Methoden** zur Bearbeitung des Datenmaterials stellen große Anforderungen an die Qualität der Daten. Die Messungen können oft nicht in allen Kriterien diesen Ansprüchen genügen (z.B. Eigenschaften der Residuen). Die Wahl der Auswertungsmethode stellte deshalb einen Abgleich der Dateneigenschaften und der angestrebten Genauigkeit dar. Auch die generelle Eigenschaft der hier verwendeten Modelle, die lediglich die statistischen und nicht die kausalen Zusammenhänge beschreiben, muss berücksichtigt werden. In Fällen, in denen dies für die inhaltliche Interpretation bedeutsam ist, wurde bei der Präsentation der Ergebnisse direkt darauf

hingewiesen. Die Analyse und Interpretation erfolgte dann jeweils besonders vorsichtig und unter Vorbehalt weiterer Untersuchungen. Dies gilt insbesondere für Teilmodelle mit geringem Stichprobenumfang und damit mehr explorativem Charakter oder orientierenden Untersuchungen auf qualitativer Basis.

Unabhängig von den verwendeten statistischen Methoden bleibt zu berücksichtigen, dass sowohl mit der Verwendung unechter Zeitreihen wie auch einer echten Zeitreihe (z.B. im Falle der Rekonstruktion der Kronenansatzdynamik an Einzelbäumen) immer nur ein retrospektiver Untersuchungsansatz zur Anwendung kommt. Damit erlauben alle statistischen Analyseresultate lediglich rückblickende Beurteilungen und sind für die Vorhersage künftigen Wachstums nur mit entsprechender Vorsicht anwendbar.

7.2 DISKUSSION DES VERWENDETEN MATERIALS

7.2.1 Kennzahlen der Untersuchungsflächen

Zur Analyse von Astreinigung und Dickenwachstum wurden zahlreiche Eschen und Bergahorne untersucht. Entsprechend den Zielsetzungen (vgl. Kapitel 1.3) der Arbeit wurden dabei Untersuchungsflächen in verschiedenen Ländern Europas angelegt. Damit konnte ein sehr **breites geografisches Gebiet** mit unterschiedlichen naturräumlichen Bedingungen abgedeckt werden. Die Vermessung von Bäumen außerhalb Deutschlands war jedoch auch notwendig geworden, um Wachstumsgesetzmäßigkeiten auch unter sehr unterschiedlichen Pflegekonzepten überprüfen zu können. Beispielsweise konnten Pflegekonzepte mit weitständiger Erziehung und relativ kurzer Produktionszeit leichter in Frankreich, Belgien oder Dänemark gefunden werden als in Deutschland. Die räumliche Ausdehnung des Aufnahmegebietes sicherte auf diese Weise ab, dass das gesamte Spektrum an Pflegekonzepten, Schaftdurchmessern oder Standorten annähernd abgedeckt werden konnte. Dabei waren wachstumskundliche Extremvarianten wie Solitäre, Ästung oder Bäume aus noch aktiv ausgeübter Mittelwaldbewirtschaftung wegen ihrer Bedeutung als Wachstumsreferenzen besonders wertvoll. Die Integration von Versuchsflächen verschiedener Forschungseinrichtungen ermöglichte es außerdem das der Arbeit in Teilen zu Grunde liegende Wuchsreihenprinzip durch detaillierte Aufzeichnungen im Sinne einer Längsschnittanalyse zu ergänzen.

Hinsichtlich der standortkundlichen Merkmale der Untersuchungsflächen wurde nicht angestrebt, alle möglichen Standorte mit Esche und Bergahorn in die Aufnahmen zu integrieren. Vielmehr erfolgte eine Konzentration auf für Wertholzproduktion geeignete und damit Standorte überdurchschnittlicher Nährstoffausstattung und Wasserversorgung.

In den Fällen, in denen auf Grund von Imbalanzen im Datenmaterial oder geringem Datenumfang (z.B. Solitäre, Ästung) Ergebnisse besonders vorsichtiger Interpretation bedürfen, wird direkt auf den vorläufigen Charakter der Auswertungen hingewiesen. Dennoch können die grundlegenden Modelle zu Astreinigung und Dickenwachstum auf Grund der sehr breiten Datenbasis weitgehende Tragfähigkeit beanspruchen.

7.2.2 Kennzahlen der Aufnahmebäume – Stehendmessung

Die Messungen an Eschen und Bergahornen umfassen ein weiteres Spektrum an Baumhöhen, Kronen- und Schaftdimensionen, Baumalter oder durchschnittlichen Radialzuwachsen. Dabei gelang es, eine **Spreitung dieser Dimensions- und Wachstumsgrößen** abzudecken, die auch Gegenstand von Produktionszielen sein könnte. Zentrales Problem bei der Auswahl der Aufnahmebäume war es jedoch, Bäume mit größeren Dimensionen und zugleich hohen durchschnittlichen Radialzuwachsen aufzufinden, um auch diese Variante in die Modellierung des Wachstums integrieren zu können. Dabei zeigte es sich als aufwendiger, Bergahorne entsprechender Dimension und Wachstums als Eschen zu finden. Dies stimmt gut mit der geringeren Verbreitung des Bergahorns im Vergleich zur Esche überein, wie aus verschiedenen Nationalinventuren ersichtlich wird (HEIN 2003).

Der überwiegende Anteil der Eschen und Bergahorne hatte einen durchschnittlichen Radialzuwachs von 2,5 bis 3,49 mm: Esche: 41,0 % aller 1501 Bäume sowie bei Bergahorn 39,6 % von 1021 Bäumen. Da jedoch nur noch 110 Eschen und 58 Bergahorne mit einem durchschnittlichen jährlichen Radialzuwachs von mehr als 4,5 mm vorhanden waren, wurden die Gültigkeitsgrenzen des Modells zur Vermeidung von Inkonsistenzen im Randbereich des Wertebereichs vorsichtshalber entsprechend den Vorgaben der Kapitel 4.1.1 (Höhenwachstumsmodell), Kapitel 4.2.1 und 4.3.1 (Kronenansatzmodell und Modell zur astfreien Schaftlänge) festgelegt. Aufgrund von entsprechenden Überlegungen wurden auch die in Kapitel 4.2.1 und 4.3.1 genannten Modellgrenzen bei geringen Höhenbonitäten und größeren durchschnittlichen Radialzuwachsen festgesetzt. Insgesamt konnte mit der für die einzelnen Fragestellungen vorhandenen Datengrundlage die angestrebten Untersuchungen mit der hoher Sicherheit und großer Genauigkeit bearbeitet werden.

7.2.3 Kennzahlen der Aufnahmebäume – Liegendmessung

Im Rahmen der Untersuchung konnten 134 Eschen und 98 Bergahorne gefällt werden. Die breite Spreitung der Kennzahlen der Aufnahmeflächen spiegelt sich auch in den Kennzahlen der Aufnahmebäume wieder. Bei der Datengewinnung, besonders beim Bergahorn, war es in 10 Fällen (Esche: 3) aufgrund der hohen Stammqualitäten und erwarteten hohen Erlöse nicht möglich, **Stammscheiben** in 1,3 m Schafthöhe zu entnehmen. Mit der Analyse der Triebhlängen entlang der Schaftachse an beiden Baumarten konnte ergänzend zur Höhenanalyse anhand von Stammscheiben das Höhenwachstumsmodell überprüft werden.

Bei den Messungen zur den **Astansatzwinkeln** der lebenden Äste muss berücksichtigt werden, dass die Winkel am gefällten, liegenden Baum Abweichungen zu den tatsächlichen Winkeln eines stehenden Baumes aufweisen können. Durch das Eigengewicht der Äste in der Krone sind gegenüber den hier vorgenommenen Messungen tendenziell größere Winkel zu erwarten.

Aus den gefällten Bäumen wurden auch **überwallte Äste** zur weiteren Analyse im Labor entnommen. In dem für die Untersuchung der überwallten Äste vorgesehenen Abschnitt bis 15 m Höhe am Schaft konnte eine ausreichende Anzahl überwallter Äste gefunden werden. Die Durchmesserspreitung der überwallten Äste überschritt in der vorliegenden Untersuchung jedoch kaum 6,0 cm. Die aus der Überwallungsuntersuchung berechneten

Kenngößen bedürfen deshalb zur weiteren Absicherung in diesem Randbereich noch einer Untersuchung auf breiterer Datenbasis. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass überwallte Äste mit größeren Astbasisdurchmessern auch bei Zieldurchmessern von zum Beispiel 60 cm kaum noch große Breiten des astfreien Holzmantels erwarten lassen. Bereits bei Durchmessern natürlich abgestorbener, vollständig überwallter Äste wurden einseitige asthaltige Kerne von 10 cm (d.h. 20 cm beidseitig unter der vereinfachenden Annahme gerade und lotrecht verlaufenden Marks).

Da **Solitäre** in der Regel besondere landschaftspflegerische Funktionen erfüllen, konnten nur wenige Solitäreschen und -bergahorne gefällt werden. Weitere Daten zum Dickenwachstum konnten aus diesem Grund nur aus Bohrkernen gewonnen werden. Aus diesem Grund müssen die Ergebnisse zum jährlichen Radialzuwachs und zur jährlichen Jahrringbreite von Eschen- und Bergahornsolitären vor dem Hintergrund dieser Datenbasis gesehen werden.

7.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN ZUR DYNAMIK DER ASTREINIGUNG

7.3.1 Entwicklung des Höhenwachstums

Das im Rahmen dieser Arbeit hergeleitete Höhenwachstumsmodell wird im Folgenden mit anderen Höhenwachstumsverläufen verglichen. Es erfolgt auch ein Baumartenvergleich, bei dem das Höhenwachstum von Esche und Bergahorn untereinander und das von beiden Baumarten mit der Buche verglichen werden.

Eine der vorliegenden Arbeit vergleichbare Methodik (SLOBODA 1971) für die modellhafte Darstellung des Höhenwachstums verwenden NAGEL (1985) für Bergahorn, BÖCKMANN (1990) für Winterlinde und RÖÖS (1990) für Wildkirsche. Die durchschnittliche absolute Abweichung betrug mit $\pm 0,09$ m für Esche (Bergahorn: $\pm 0,11$ m) einen im Vergleich zu NAGEL (1985) (Bergahorn: $\pm 0,15$ m) niedrigen Wert. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass als Datengrundlage im vorliegenden Modell ein 7jähriges anstelle eines 5jährigen (NAGEL 1985) gleitenden Mittels des Höhenzuwachses verwendet wurde. Damit können kurzfristige Zuwachsschwankungen über einen längeren Zeitraum ausgeglichen werden, zugleich jedoch werden einmalige, deutlich größere Höhenzuwächse durch dieses Modell nicht abgebildet (vgl. dazu die Maximalwerte der jährlichen Längenzuwächse entlang der Schaftachse in Kapitel 4.1.2 und Tabelle 4-1). Eine leichte Tendenz zur Überschätzung geringer Höhenzuwachswerte und Unterschätzung hoher Werte war sichtbar. Angesichts der Gesamtstreuung der Einzelwerte und des insgesamt guten Anpassung der Ausgleichsfunktion wurde die dargestellte Höhenwachstumsfunktion jedoch beibehalten. Aus dem Vergleich der Höhenwachstumsmodelle mit dem Triblängenwachstum zeigte sich, dass das Modell für beide Baumarten in einem Altersbereich von 20 – 60 Jahren eine geringere Spreitung der Zuwachsverläufe als die Werte der Triblängenanalyse aufweist. Als Grund dafür wird die Methode der Triblängenmessung angesehen, die an der Außenseite der Triebe erfolgte und damit Schaftkrümmungen, insbesondere im oberen Kronenbereich, stärker nachzeichnete. Die

Höhenzuwachskurven von Esche und Bergahorn weisen im Vergleich mit den Ergebnissen von NAGEL (1985) große Gemeinsamkeiten auf: die Kulmination der Höhenzuwächse erfolgt mit 5 bis 20 Jahren zu einem sehr frühen Zeitpunkt. Der Höhenzuwachs fällt bis zu einem Alter von ca. 40 Jahren bonitätsabhängig auf die Hälfte oder bis auf ein Drittel des Wertes zum Kulminationszeitpunkt ab. Danach streicht der Höhenzuwachs sehr flach aus und erreicht einheitlich für alle Höhenbonitäten Werte von 0,10 bis 0,20 m. Die vorliegenden Ergebnisse passen somit gut in das Bild von Wachstumsabläufen von Baumarten mit früher Kulmination der Zuwachsparemeter. Unterschiede ergeben sich allerdings in den absoluten maximalen Höhenzuwächsen, die standort- und baumartbedingt sehr unterschiedlich ausfallen (jeweils beste Höhenbonität): z.B. NAGEL (1985) (Bergahorn) mit 0,98 m/ J gegenüber 1,12 m/ J der besten hier vorliegenden Höhenbonität. Die Gültigkeitsgrenzen des vorgestellten Höhenbonitätsfächers wurden für Esche auf 80 J und für Bergahorn auf 60 J festgelegt. Zur Berechnung der Kronenansatzhöhe und der astfreien Schaftlänge im Alter von 100 Jahren erfolgte allerdings eine Extrapolation über diesen Bereich hinaus. Da der Höhenwachstumsverlauf über diesen Randbereich hinaus immer noch gut dem aus anderen Höhenwachstumsverläufen bekannten Wachstumsrhythmus entspricht (vgl. Anhang 3), wurde die Entscheidung getroffen, für diese Berechnungen eine gewisse Unsicherheit gegenüber dem „tatsächlichen“ Verlauf hinzunehmen.

Bei einem **Vergleich von Höhenwachstumsmodellen** müssen jedoch auch **methodische Unterschiede der Untersuchungsansätze** berücksichtigt werden (Tabelle 7-1: und Tabelle 7-2:). Während beispielsweise VOLQUARDTS (1958) und CARBONNIER (1947) mit verschiedenen Oberhöhen arbeiten, stellen WIMMENAUER (1918), WIMMENAUER (1919a), WIMMENAUER (1919b) und KNORR (1987) den Höhenwachstumsverlauf von Esche und Bergahorn anhand von Bestandesmittelhöhen dar. Unterschiede in Höhenwachstumsverläufen in höherem Alter zwischen verschiedenen Autoren können auch durch zu geringes Datenmaterial verursacht werden (z.B. MÖLLER & NIELSEN 1959). Gezielte Holznutzung bei alten Bäumen auf guten Standorten kann dabei zu Lücken in der Datengrundlage und ungenauen Wachstumsmodellen führen. Auch unterschiedliches Keimdatum der Bäume kann die Ursache für Wachstumsunterschiede sein, wobei nicht mehr von konstanten Alters-Höhenbeziehungen ausgegangen werden kann (vgl. SPIECKER et al. 1996). Beispielsweise wurden als Datengrundlage des 1918 und 1919 von WIMMENAUER veröffentlichten Höhenbonitätsfächers für Esche (WIMMENAUER 1918, WIMMENAUER 1919a, WIMMENAUER 1919b) bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurückreichende alte Eschen verwendet. Die jüngsten noch in das vorliegende Höhenwachstumsmodell aufgenommenen Eschen hatten mit 1990 ein wesentlich späteres Keimdatum. In einigen Untersuchungen zum Höhenwachstum von Esche und Bergahorn wurden auch Bäume aus Mischbeständen verwendet. Mögliche Auswirkungen von Mischungsarten und Mischungsformen auf das Höhenwachstum werden jedoch in der Literatur nur selten diskutiert. In der vorliegenden Arbeit ist kein spezifischer Ansatz zur Untersuchung der Auswirkung einer Mischbestandssituation auf das Höhenwachstum enthalten. Eine grafische Begutachtung der einzelbaumweisen Höhenwachstumsverläufe nach Rein- und Mischbeständen ergab jedoch auch keine Hinweise auf eventuelle Unterschiede zwischen beiden Kollektiven.

Die eigentliche Herleitung des modellhaften Höhenwachstumsverlaufs geschieht nach zwei prinzipiell unterschiedlichen Verfahren: während frühere Höhenwachstumsverläufe über grafische Verfahren hergeleitet wurden (Tabelle 7-1: und Tabelle 7-2:), werden in neueren Untersuchungen ausschließlich rechnerische Ausgleichsverfahren verwendet.

Tabelle 7-1: Untersuchungen zum Höhenwachstum von Esche in Europa.

Esche			
Autoren	Höhe	Methoden	Material
(WIMMENAUER 1918, WIMMENAUER 1919a, WIMMENAUER 1919b)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Baumhöhenmessungen, grafischer Ausgleich	Deutschland/ Hessen, Rein- und Mischbestände
(OPPERMANN & BORNEBUSCH 1929)	Mittelhöhe n. Df. (ohne weitere Spezifizierung)	Baumhöhenmessungen, rechnerischer Ausgleich nach Grams (o. weitere Spezifizierung)	Dänemark, Rein- und Mischbestände
(ZIMMERLE 1942)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	grafischer Ausgleich	Deutschland/ Württemberg, Rein- und Mischbestände
(CARBONNIER 1947)	Oberhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Kombination aus rechnerischem und grafischem Ausgleich	Schweden/ Südschweden, Rein- und Mischbestände
(VOLQUARDTS 1958)			Deutschland (Schleswig-Holstein)
(MØLLER & NIELSEN 1959)	h_g „zwischen der Df.“	grafischer Ausgleich -	Dänemark und Schweden, Rein- und Mischbestände
(BRÜEL 1969)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	grafischer Ausgleich	Dänemark
(HAMILTON & CHRISTIE 1971)	h_{100} , Spitzenhöhe	-	Großbritannien
(SOPP 1974)	Oberhöhe: 10 – 15 herrschende Bäume, deren Krone zu 1/3 über das Kronendach hinausragen	-	Ungarn
(STERBA 1976)	h_{100} , Spitzenhöhe	Ableitung von (SOPP 1974)	(Ungarn)
(DEVAUCHELLE & LEVY 1977)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Stammanalysen, rechnerischer Ausgleich (keine Angaben)	Frankreich/ Ostfrankreich

Fortsetzung auf der folgenden Seite

(LE GOFF 1982)	Mittelhöhe herrschender Bäume	Stammanalysen, rechnerischer Ausgleich: (BAILEY & CLUTTER 1974)	Frankreich/ Nord-Picardie
(ANONYMUS 1984)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	-	Rumänien
(KOVÁCS 1986)	Oberhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	rechnerisch (Polynom 5.Grades)	Ungarn Reinbestände
(KNORR 1987)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	rechnerischer Ausgleich: doppellogarithmische Parabel	Deutschland/ Bayern Reinbestände
(ÚHÚL - BRANDÝS N.L.VÚHLM - ZBRASLAV STRNADY 1990)	Mittelhöhe des Hauptbestandes	-	Tschechien
(THIBAUT et al. 1992)	Oberhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Baumhöhenmessungen, Stammanalysen, rechnerischer Ausgleich: (JOHNSON 1935)/ (SCHUMACHER 1939)	Belgien/ Wallonien
(JANSEN et al. 1996)	Oberhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Ableitung von (VOLQUARDTS 1958) über (RICHARDS 1959) (CHAPMAN 1961)	(Deutschland)

Tabelle 7-2: Untersuchungen zum Höhenwachstum von Bergahorn in Europa.

Bergahorn			
Autoren	Höhe	Methoden	Material
(LESSEL 1950)	Mittelhöhe – stammzahlsgewogen	Stammanalysen, grafischer Ausgleich	Deutschland/ Westerwald, meist Mischbestände, ohne Durchforstungsgrad, Stammanalyse und Höhenmessungen in Beständen
(KJÖLBY et al. 1958)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Baumhöhenmessungen, Wiederholungsmessungen grafischer Ausgleich	Dänemark
(ANONYMUS 1984)	Mittelhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	-	Rumänien
(LE GOFF & MADESCLAIRE 1985) (1988)	-	rechnerisch: eigene Entwicklung über Standortparameter, für 4 verschiedene Standorte	Frankreich (Lorraine)
(NAGEL 1985)	Weise'sche Oberhöhe	Stammanalysen, rechnerisch: (SLOBODA 1971)	Deutschland (Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz)
(CLAESSENS et al. 1999)	Oberhöhe (ohne weitere Spezifizierung)	Baumhöhenmessungen, Stammanalysen, rechnerisch: (DUPLAT & TRAN-HA MIEN 1990)	Belgien/ Wallonien

Zur Art des verwendeten Verfahrens legen manche Autoren keine Angaben vor oder die methodische Vorgehensweise ist nicht vollständig nachvollziehbar (Spalte 3 aus Tabelle 7-1: und Tabelle 7-2:). Auch die unterschiedliche Ermittlung des Baumalters kann

verschiedenartige Wachstumsabläufe erklären. Dabei ist die Bezugshöhe am Schaft von besonderer Bedeutung. Bei der Mehrzahl der Veröffentlichungen werden dazu keine Angaben gemacht. Einen **grafischen Überblick über bisherige Untersuchungen zum Höhenwachstum von Esche und Bergahorn in Europa** bietet Abbildung 7-1: Die Abbildungen stellen exemplarisch in grafischer Form die Höhenwachstumsverläufe vergleichend gegenüber. Aus Platz- und Übersichtlichkeitsgründen wurden alle weiteren in den Tabellen 7-1 und 7-2 erwähnten Höhenwachstumsmodelle als Zusatz in den Anhang (Anhang 3) aufgenommen. Für die Esche liegen zu diesem Thema deutlich mehr Arbeiten als zum Bergahorn vor. Die Höhenwachstumsabläufe umfassen Altersspannen von 5 bis maximal 120 Jahren. Es werden Höhen von 15 bis 40 m im Alter 100 Jahren erreicht (Bergahorn: 14 bis 34), die in Höhenbonitäten unterschiedlicher Anzahl aufgeteilt werden. Bereits auf den ersten Blick fallen Unterschiede und Gemeinsamkeiten auf: alle Wachstumskurven weisen bis zu einem Alter von 30 bis 40 Jahren ein sehr steil verlaufendes Wachstum und damit eine sehr frühe Kulmination des Höhenzuwachses auf. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt auch SCHÖLCH (1998) bei der Untersuchung des Höhenwachstums von Eschen auf Sukzessionsflächen in Baden-Württemberg. Ab einem Alter von ca. 40 Jahren zeigen die einzelnen Höhenbonitätsfächer jedoch einen deutlich divergierenden Höhenwachstumsverlauf. Während einige (z.B. LE GOFF 1982, KNORR 1987) für Esche und NAGEL (1985) für Bergahorn in einem Baumalter von 80 bis 100 Jahren mit ca. 0,20 bis 0,25 m/ J noch einen relativ steil verlaufenen, flachen die Höhenwachstumskurven bei den übrigen Autoren selbst in den besten Höhenbonitäten mehr oder weniger stark ab (z. B. ÚHÚL - BRANDÝS N.L.VÚHLM - ZBRASLAV STRNADY 1990) (Tschechien, s. Abbildung 7-1:) für Esche mit 0,03 m/ J und KJÖLBY et al. (1958) für Bergahorn mit 0,05 m/ J). Die Gründe dafür könnten in einer oder mehreren der oben genannten methodischen Unterschiede bei der Modellentwicklung liegen, es könnte darin aber auch ein Hinweis auf standortstypische Wachstumsunterschiede gesehen werden. Der Höhenbonitätsfächer von HAMILTON & CHRISTIE (1971) beschreibt zudem das Höhenwachstum von Esche, Bergahorn und Birke insgesamt. Von den bislang vorhandenen Höhenwachstumsmodellen zeigten die Modelle von SOPP (1974), LE GOFF (1982) und KNORR (1987) (jeweils Esche) die beste Übereinstimmung mit dem in der vorliegenden Arbeit hergeleiteten Modell, für Bergahorn fand sich die beste Übereinstimmung mit dem Modell von NAGEL (1985).

Der **Vergleich des Höhenwachstumsverlaufs von Esche und Bergahorn untereinander** zeigt weitere typische Wachstumseigenarten auf. Die modellhaften Höhenwachstumsverläufe für Esche stimmen in der Jugend recht gut mit denen für Bergahorn überein. Nach einem sehr steilen Anstieg bis ca. 30 bis 40 Jahren flachen die Wachstumsverläufe für beide Baumarten deutlich ab. Unterschiede zeigen sich hier wie auch schon bei der Betrachtung der einzelbaumweisen Wachstumsverläufe (vgl. Kapitel 4.1.1) in den erreichten Endhöhen, bei denen die besten Höhenbonitäten der Esche Höhen von maximal 35 bis 40 m erreichen, während Bergahorn stets unter diesen Werten bleibt.

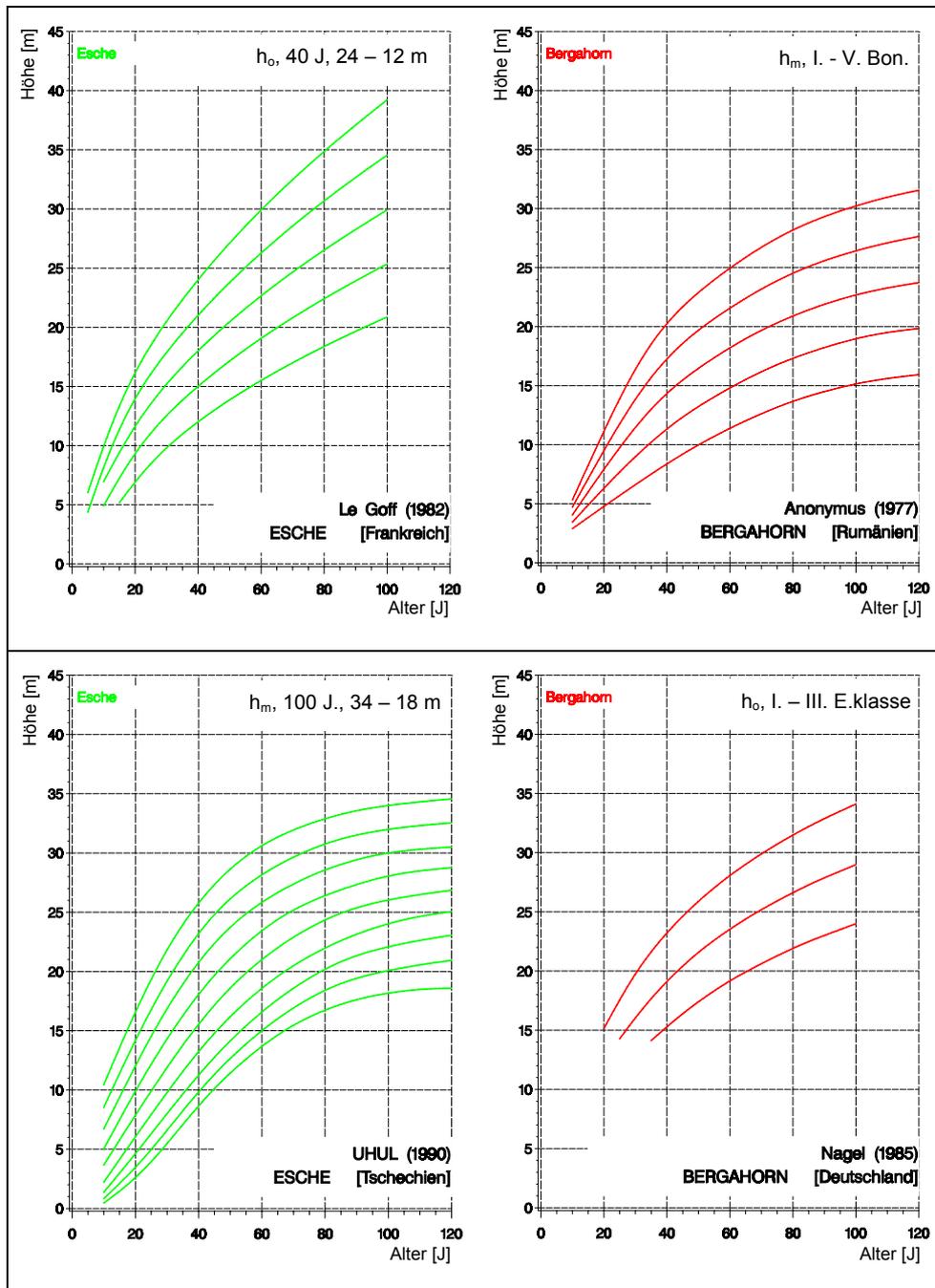


Abbildung 7-1: Höhenwachstum von Esche und Bergahorn, (Beispiel von Höhenbonitätsfächern aus Frankreich, Tschechien, Rumänien und Deutschland).

Im Vergleich der Höhenentwicklung von Esche und Bergahorn mit Buche werden deutliche Unterschiede erkennbar (Abbildung 7-2): die Buche erreicht eine bestimmte

Höhe innerhalb des hier untersuchten Altersrahmens durchschnittlich 15 bis 20 Jahren später als Esche und Bergahorn. Entsprechend liegt die Kulmination des Höhenzuwachses von Buche, zwischen 30 und 40 Jahren, deutlich später. Zusätzlich ergeben sich zwischen den drei Baumarten deutliche Unterschiede im maximalen Höhenzuwachs. Nach dem vorliegenden Datenmaterial erreicht die Esche die höchsten Werte, die auch bei den besten Höhenbonitäten des Bergahorns kaum erreicht werden. Bei Buche ist dagegen nur selten mit einem bestandesbezogenen Höhenzuwachs von über einem Meter zu rechnen (SCHOBBER 1995). Ab einem Alter von 40 Jahren jedoch verläuft das Höhenwachstum der Buche deutlich steiler und flacht auch in einem Alter von 100 Jahren nur unmerklich ab. Das Absinken des Höhenzuwachses verläuft bei Esche besonders ausgeprägt, bei Bergahorn etwas verzögert, Auf den besten Höhenbonitäten erreicht die Buche zu diesem Zeitpunkt noch einen bestandesbezogenen Höhenzuwachs von 0,20 m/J (SCHOBBER 1995).

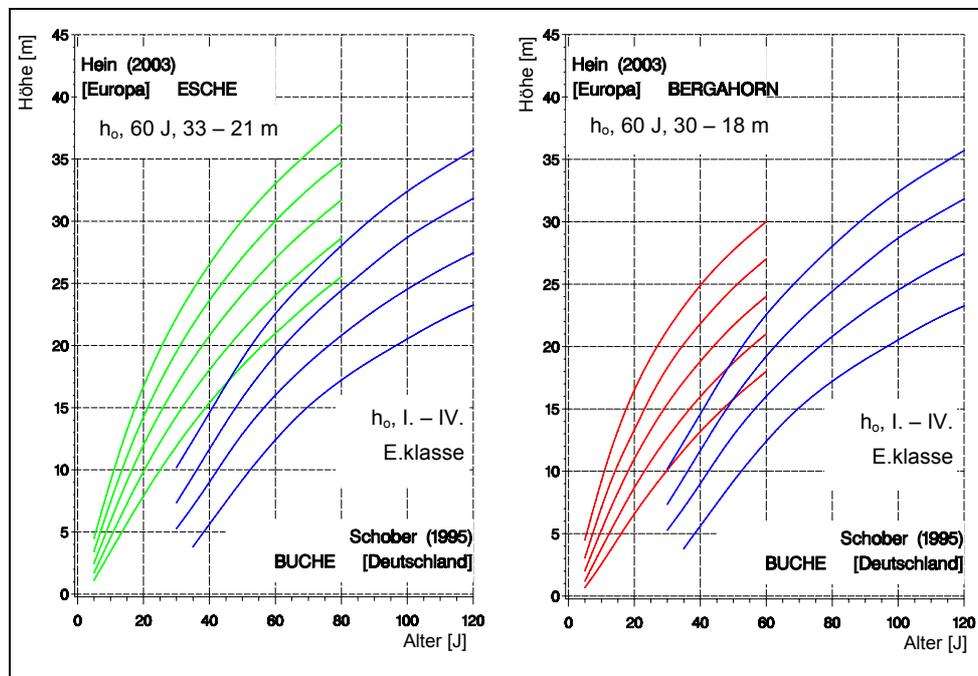


Abbildung 7-2: Höhenwachstum von Esche und Bergahorn im Einzelvergleich mit dem Höhenwachstum der Buche (nach SCHOBBER (1995)).

Welche Baumart im Mischbestand bezüglich des Höhenwachstums dominiert, ist jedoch nur auf einem konkreten Standort zu entscheiden. Der Vergleich der modellhaften Höhenwachstumsverläufe kann dazu nur allgemeine Hinweise geben. Aus diesem Vergleich lassen sich dennoch Folgerungen für die Wachstumssteuerung in Mischbeständen und für planerische Aufgaben ableiten. Aufgrund der größeren Gemeinsamkeiten im Wachstum von Esche und Bergahorn im Gegensatz zur Buche scheint es eher angebracht, Höhenwachstumsmodelle von Esche oder Bergahorn ersatzweise zu verwenden, als auf Modelle für Buche zurückzugreifen (s. NAGEL 1985). Es wurde jedoch auch deutlich, dass ab einem

Alter von 40 Jahren Esche und Bergahorn einen deutlich abweichenden Höhenwachstumsverlauf aufweisen. Der Höhenwachstumsvergleich auf gleichem Standort bedarf jedoch einer eigenen Untersuchung und kann aus einer Gegenüberstellung der Bonitätsfächer nicht abschließend durchgeführt werden.

Die aus wachstumskundlicher Sicht gewonnenen **Informationen zur Wachstumsdynamik von Esche und Bergahorn werden durch bestandesstrukturelle und pflanzensoziologische Untersuchungen bestätigt** (ERTELD 1959, RÖHRIG 1966, FREIST 1973, ELLENBERG 1996). Auf Standorten, die zu Mischbeständen mit Esche, Bergahorn und Buche führen, erklären neben weiteren Einflussfaktoren die großen Höhenzuwächse von Esche und Bergahorn die Dominanz dieser Baumarten gegenüber der Buche. Auf besser nährstoff- und wasserversorgten Standorten sind daher die raschwüchsigeren Baumarten der Buche in frühen Entwicklungsstadien deutlich überlegen. Im Altbestand jedoch weitet die Buche ihre Dominanz ohne steuernde Pflegeeingriffe wieder aus (VON LOCHOW 1987).

Für die in die beiden Höhenwachstumsmodelle integrierten Solitäre konnte grafisch kein von Bestandesbäumen abweichendes Höhenwachstum beobachtet werden. Aufgrund der geringen Baumhöhen der Solitäre (Esche bis 15,6 m; Bergahorn: bis 16,9 m) und der Lage außerhalb des hier erstellten Bonitätsfächers konnte jedoch nicht von einer prinzipiellen Gültigkeit des berechneten Höhenwachstumsmodells ausgegangen werden. Allerdings kann nach LANNER (1985) innerhalb weiter Grenzen der Bestandesdichte davon ausgegangen werden, dass das Höhenwachstum unbeeinflusst bleibt. Jenseits dieser Grenzen kann es jedoch zu Veränderungen des Höhenwachstums kommen. KERR (1996) beschreibt **den Einfluss unterschiedlicher Bestandesdichte auf das Höhenwachstum** von Bäumen. Eichen aus stark hochdurchforsteten Beständen hatten 35 Jahre nach dem Start des Experiments deutlich geringere Baumhöhen als Eichen aus Beständen mit schwacher Durchforstung. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommen auch HUMMEL (1951) sowie SAVILL & SPILSBURY (1991), ebenfalls bei Untersuchungen an der Eiche. CABANETTES et al. (1999) fand bereits 8 Jahre nach der Pflanzung von Eschen und Bergahornen signifikante Unterschiede in der Baumhöhe zwischen freistehenden und im Bestandesverband gepflanzten Bäumen. Auch ENDRES (1889) berichtet bereits von nachlassendem Höhenwachstum nach Freistellungen in Mittelwäldern. Aus baumphysiologischer Sicht könnten diese Beobachtungen erklärt werden durch erhöhte Luftfeuchte im Bestandesinnenklima, Verringerung der Transpiration und weniger ausgeprägte thermische Schwankungen (FRIEDRICH & DAWSON 1984, AUSSENAC 1986) oder reduzierte mechanische Belastung (TELEWSKI 1995). Unabhängig von der Bestandesdichte beziehungsweise seitlich wirkender Konkurrenz muss berücksichtigt werden, dass Überschildung zu deutlichen Veränderungen des Höhenwachstums führen kann. Beispielhaft seien hier Arbeiten von KERN (1966) sowie MONSERUD & EK (1977) genannt. Aus diesen Gründen wird die Einschätzung der Güte der Standorte mit Solitären anhand einer dreiteiligen ordinalen Skala „überdurchschnittlich“, „mittel“ und „unterdurchschnittlich“ und nicht anhand des hier erstellten Bonitätsfächers als angemessen beurteilt.

7.3.2 Entwicklung des Kronenansatzes

Die Entwicklung des Kronenansatzes, d.h. das Absterben von am Stamm ansitzenden Ästen und Zweigen, kann als Prozess angesehen werden, der aus physiologischer Sicht durch Lichtmangel induziert wird. GRUBER (1992) konnte dies durch Untersuchungen an Nadelbäumen nachweisen⁴⁶. Mit der vorliegenden Untersuchung wurde jedoch keine Modellierung der physiologischen Prozesse angestrebt, sondern die Darstellung der Dynamik der Kronenansatzentwicklung in Form von einfachen, flexiblen Wachstumsmodellen, die in Entscheidungshilfen umgesetzt werden können.

Das in der vorliegenden Untersuchung berechnete Kronenansatzmodell basiert auf der Höhenentwicklung und der Durchmesserentwicklung des Einzelbaumes. Dabei kann die Höhenentwicklung als eine über seitliche Konkurrenz in einem weiten Rahmen unbeeinflussbare Wachstumsgröße angesehen werden. Die Entwicklung des Dickenwachstums spiegelt dagegen die individuellen Standraumverhältnisse des Einzelbaumes wider und ist im Zuge von Pflegemaßnahmen wie beispielsweise durch Durchforstungen steuerbar.

Mit dem hier vorgelegten Kronenansatzmodell kann für Esche und Berghorn **ein hoher Anteil der einzelbaumweisen Streuung der Kronenansätze erklärt** werden. Dennoch kommt es zu Fehlschätzungen am Einzelbaum von maximal 6 bis 8 m. In dem von NUTTO (1999) vorgestellten Modell vergleichbarer Formulierung waren Reststreuungen bis über ± 3 m bei durchschnittlich niedrigeren Baumhöhen zu verzeichnen. Ein von VALENTINE et al. (1994) vorgestelltes Modell zur Schätzung der Kronenansatzhöhe über die mittlere Bestandeshöhe und den mittleren Baumabstand erreicht Reststreuungen von etwas unter einem Meter. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich diese Schätzungen auf Bestandesmittelwerte und nicht auf Einzelbaumschätzungen beziehen. Angesichts der Einfachheit des gewählten Modells und des hohen Anteil erklärter Streuung der abhängigen Variablen kann das vorliegende Modell als für das Ziel der Untersuchung geeignet angesehen werden. Mit der Integration der Zwieselbildung in das Kronenansatzmodell konnte zudem die Streuung verringert werden.

Bei der Verwendung des Kronenansatzmodells sind die **Gültigkeitsgrenzen** entsprechend den Vorgaben des Kapitels 4.2.1 (Kronenansatzmodell) zu beachten. Aufgrund der schwächeren Datenlage bei dicken und zugleich schnell gewachsenen Eschen und Bergahornen sind Extrapolationen über den festgelegten Gültigkeitsbereich hinaus zur Vermeidung von Inkonsistenzen nicht zulässig; zusätzlich wird ein den hier vorgelegten Höhenwachstumsgängen von Esche und Bergahorn entsprechender Höhenwachstumsverlauf vorausgesetzt.

Alternative Modelle zur Beschreibung der Kronenansatzdynamik, wie sie von SPIECKER (1991) und DAGNELIE et al. (1999) vorgeschlagen wurden, konnten die Streuung der Einzelwerte weniger gut beschreiben. Mit der Modellierung der relativen Kronenansatzhöhe – im Bezug zur Baumhöhe – als vom Brusthöhendurchmesser und dem durchschnittlichen Radialzuwachs abhängige Variable entsprechend dem Modell von (SPIECKER 1991) erfolgte keine tendenzfreie Schätzung. Zudem konnte weniger als 25 % der Streuung erklärt werden. Da in Falle des Modells von SPIECKER (1991) jedoch

⁴⁶ Neben den lichtökologischen Bedingungen vermuten FORWARD & NOLAN (1961) bei Untersuchungen an *Pinus resinosa* auch hormonelle Einflüsse als Ursachen für das kontrollierte Absterben von Ästen und Zweigen.

Relativwerte und mit dem vorliegenden Modell absolute Werte geschätzt werden, kann diese Gegenüberstellung jedoch keinesfalls abschließend sein. Ein umfassender Modellvergleich könnte Gegenstand einer zeitintensiveren Einzeluntersuchung sein. Mit dem Modell von DAGNELIE zur Schätzung der relativen Kronenlänge, über die eine Berechnung der Kronenansatzhöhe möglich ist, konnte ebenfalls nur 10 % der Gesamtstreuung erklärt werden. Aus diesem Grunde fiel die Wahl auf das vorliegende Modell.

Unterstellt man eine bestimmte Höhenentwicklung und einen durchschnittlichen Radialzuwachs, so kann die **durchschnittliche 5jährige Verlagerung der Kronenansatzhöhe** für Bestandesbäume vorhergesagt werden. Damit kann nochmals die Dynamik der Astreinigung insbesondere in jungen Entwicklungsstadien dargestellt werden. In jungem Alter erreicht die Verlagerung des Kronenansatzes innerhalb von 5 Jahren für Radialzuwächse von 2 bis 5 mm mit Werten bis 2,5 m sehr hohe Werte (Abbildung 7-3:). Danach fällt die jährliche Verlängerung des Kronenansatzes steil ab. Fast ohne große Unterschiede zwischen den Radialzuwächsen verlagert sich der Kronenansatz im Alter von knapp 20 Jahren zwischen 2,5 und 1,5 m in 5 Jahren (Esche); Bergahorn: zwischen 1,9 und 1,0 m in 5 Jahren. In einem Alter ab 60 Jahren bewegt sich die Verlagerung des Kronenansatzes nur noch zwischen 0,8 und 0,3 m im Zeitraum von 5 Jahren; Bergahorn: zwischen 0,5 und 0,01 m in 5 Jahren. Dies weist auf die Bedeutung des sehr dynamisch verlaufenden Höhenwachstums mit entsprechend schnell sich verlagernden Kronenansätzen in jüngerem Alter hin.

Die **jährliche Verlagerung des Kronenansatzes von Esche und Bergahorn** in jüngerem Entwicklungsstadium ist beträchtlich. Beispielsweise können nach dem Kronenansatzmodell bei Esche (z.B. Höhenbonität 33 m) zwischen 15 und 20 Jahren bei Radialzuwächsen von 2 bis 5 mm Werte von 0,50 bis 0,35 m erreicht werden. Bei einer Durchforstungswiederkehr von 5 Jahren kann sich im fünfjährigen Zeitraum der Kronenansatz um 1,8 bis 2,5 m verlagern. Bei Bergahorn liegen die fünfjährigen Werte bei einer Höhenbonität von 30 m mit 1,3 bis 1,9 m etwas tiefer. Damit wird die hohe Dynamik der gesamten Astreinigung in jungem Entwicklungsstadium bei beiden Baumarten deutlich. Verzögerungen im Zeitpunkt des Durchforstungseingriffs haben somit einen großen Einfluss auf die Länge der grünen Krone, beziehungsweise auf die astfreie Schaftlänge.

Im **Baumartenvergleich** zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Esche und Bergahorn. Da dem Modell zum Kronenansatz ein unterstellter Höhenwachstumsverlauf zugrunde liegt, müssen beim Baumartenvergleich auch die prinzipiellen Unterschiede der Baumarten im Höhenwachstum berücksichtigt werden (s. Kapitel 4.1.1 und 7.3.1 sowie Abbildung 4-7). Dabei ist eine bestimmte Höhenbonität in einem bestimmten Baumalter nicht alleine aussagekräftig, da Unterschiede in der Wachstumsdynamik bis zum Erreichen dieser Höhe vorhanden sind. Ein direkter Vergleich ist somit mit diesem Ansatz nur für Baumarten möglich, die den gleichen Höhenwachstumsverlauf aufweisen. Bei dem jeweiligen baumartspezifischen Höhenwachstumsverlauf weist der Bergahorn den im Vergleich zur Esche jedoch stets den niedrigeren Kronenansatz und die kürzere astfreie Schaftlänge auf. Dies kann als erster Hinweis auf die vergleichsweise höhere Schattentoleranz oder auf eine größere Tiefenerschließung (vgl. NÜBLEIN 1995) des Bergahorns angesehen werden.

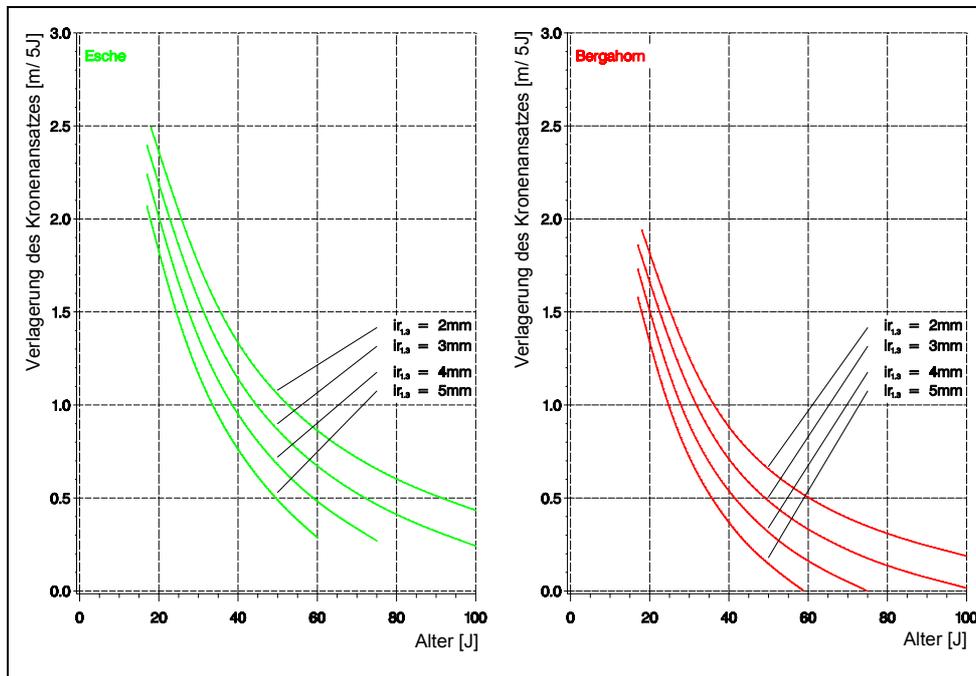


Abbildung 7-3: Modellhafte Verlagerung des Kronenansatzes über einen Zeitraum von 5 Jahren für verschiedene Varianten durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe für Esche (Höhenbonität 33 m) und Bergahorn (Höhenbonität: 30 m), Bestandesbäume.

Die Messungen zur Höhe des **Kronenansatzes in vier verschiedenen Sektoren am Schaft** zeigen die große Variation der relativen Kronenansatzdifferenz am Einzelbaum. Da beispielsweise bei der Esche bereits das Auftreten eines einzigen grünen Astes unabhängig von seinem Durchmesser zur Abstufung von Güteklasse Fr-A nach Fr-B führt (EN1316-3), kann eine unterschiedliche Kronenansatzhöhe in verschiedenen Segmenten am Schaft einen Verlust für die Produktion von Wertholz bedeuten. Bei 91,0 % der Eschen und 83,5 % der Bergahorne nahm die Differenz zwischen der minimalen und maximalen relativen Kronenansatzhöhe in den vier Sektoren 50 % der maximalen Kronenansatzhöhe ein. Es zeigt sich somit, dass durch eine ungleichmäßige Kronenansatzhöhe in den verschiedenen Sektoren am Schaft in vielen Fällen äußerlich astfreies Holz verloren gehen kann. Die relativen Kronenansatzdifferenzen konnten dabei nicht mit Unterschieden im durchschnittlichen Radialzuwachs der Bäume in Verbindung gebracht werden. Die große einzelbaumweise Variation der relativen Kronenansatzdifferenzen passt gut zum Bild der großen Residualstreuung im Kronenansatzmodell (vgl. Kapitel 4.2.1). Die Ausrichtung des Astes im Raum und die astindividuellen Beschattungsverhältnisse könnten möglicherweise zu einer Verbesserung des in der vorliegenden Arbeit geprüften Erklärungsansatzes beitragen. Zudem könnte die geringe Straffheit des Zusammenhangs auch darauf zurückzuführen sein, dass der durchschnittliche Radialzuwachs als wenig aussagekräftig für die Entwicklung einzelner Äste angesehen werden kann.

Auch hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der relativen Kronenansatzhöhe in den vier Sektoren und der **Kronenform** konnte nachgewiesen werden, dass keine klare gegenseitige Abhängigkeit besteht. Bäume, deren Kronenschirmflächen regelmäßiger und damit näher einer Kreisform verliefen, wiesen nicht zwingenderweise eine geringere relative Differenz zwischen der maximalen und minimalen Kronenansatzhöhe in den vier Sektoren auf. Auch für Solitäre beider Baumarten konnte dies bestätigt werden. Trotz „gleichmäßiger Kronenausformung“ können somit unterschiedliche Kronenansatzhöhen in den verschiedenen Sektoren vorhanden sein. Möglicherweise sind die astindividuellen Beschattungsverhältnisse und auch die Ausrichtung des Astes im Raum oder die Wachstumssituation am Hang weitere Einflussfaktoren, die sich auf das Absterbeverhalten der Äste und die Kronenform sehr variabel auswirken. Untersuchungen zu dieser Fragestellung für andere Baumarten liegen bislang noch nicht vor. Ein Vergleich ist aus diesem Grunde nicht möglich.

Die Darstellung der Kronenansatzentwicklung an **Solitären** und Bestandesbäumen erfolgte getrennt. Das für Bestandesbäume erstellte Modell unterschätzte die Kronenansätze von Eschen und Bergahornsolitären beträchtlich. Das Kronenansatzmodell für Bestandesbäume kann demnach die Kronenansatzentwicklung von Solitären nicht adäquat abbilden. Im Vergleich zu Bestandesbäumen war bei Solitären selbst in jungen Entwicklungsstadien nur eine sehr geringe Verlagerung der Kronenansatzhöhe zu beobachten. Die geringe Veränderung der Kronenansatzhöhe von Solitären ist kein eindeutiger Hinweis auf die Unmöglichkeit, sogar bei konkurrenzfreiem Wachstum ein tatsächliches Anhalten der Kronenbasis zu erreichen. Bei einigen Solitären konnte aufgrund ihrer Lage in Feldern oder teilweise bewirtschafteten Wiesen eine gezielte Entfernung einzelner Äste zur besseren landwirtschaftlichen Nutzung ihrer Umgebung nicht ausgeschlossen werden. Nur an vier der Eschensolitäre war ein Totaststummel unterhalb des Kronenansatzes zu erkennen (Bergahorn: ein Solitär). Das Auftreten des Totastes war in diesen Fällen eindeutig auf die Schattenwirkung einer umgebenden Hecke oder Anwuchsschwierigkeiten im Jugendstadium zurückzuführen. Absterben von Ästen wurde bei Solitären nur als Absterben der Äste zweiter oder höherer Ordnung beobachtet. Es ist daher nachliegend, dass die geringe Veränderung der Kronenansatzhöhe der hier vermessenen Solitäre auf störende Einflussfaktoren und nicht Selbstbeschattung zurückzuführen ist. Diese störenden Einflussfaktoren könnten beispielsweise frühere oder aktuelle landwirtschaftliche Nutzungen in der unmittelbaren Umgebung des Solitärbaumes sein.

Nach Untersuchungen von FREISE & SPIECKER (1999) befand sich der durchschnittliche Kronenansatz von großkronigen Buchensolitären in 3 m Höhe. Die Solitäre erzielten dabei einen durchschnittlichen jährlichen Durchmesserzuwachs von 8,9 mm. HASENAUER (1997) schätzte die Kronenansatzhöhe in einem logarithmischen Modell über die Baumhöhe⁴⁷. Bei einer durchschnittlichen Höhe der Eschensolitäre im vorliegenden Datenmaterial von 17 m bei einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm wird nach der Gleichung von HASENAUER die Kronenansatzhöhe auf 2,2 m geschätzt (Bergahorn: bei 15 m Baumhöhe ergibt sich eine geschätzte Kronenansatzhöhe nach HASENAUER von 1,8 m). Aus dem in der vorliegenden

⁴⁷ HASENAUER (1997): Esche: $\ln(\text{Kronenansatzhöhe}) = -1,0901 + 0,6644 \cdot \ln(\text{Baumhöhe})$, N=12; Bergahorn: $\ln(\text{Kronenansatzhöhe}) = -1,9810 + 0,9562 \cdot \ln(\text{Baumhöhe})$, N=8; zu beachten ist dabei die unterschiedliche Kronenansatzdefinition: „Höhe des ersten lebenden Quirls, der in die Krone reicht“.

Arbeit ermittelten Kronenansatzmodell ergibt sich für Esche eine Kronenansatzhöhe von 2,6 m bei einem Brusthöhendurchmesser von 60 cm (Bergahorn: 1,9 m). Die Übereinstimmung ist somit sehr gut.

7.3.3 Entwicklung der astfreien Schaftlänge und der inneren Ästigkeit

Das Modell zur Prognose der astfreien Schaftlänge bietet die Möglichkeit, auch die innere Ästigkeit vorherzusagen und darzustellen. Abweichend von den anderen, komplexeren Modellen zur Prognose der Holzqualität (z.B. (BLAISE et al. 1996, SCHMIDT 2001)) sollte im vorliegenden Fall ein auf einfachen statistischen Zusammenhängen basierendes Modell entwickelt werden, das in einfache Entscheidungshilfen umsetzbar war.

Das Modell zur Vorhersage der astfreien Schaftlänge basiert auf statistischen Zusammenhängen. Auf eine kausale Abhängigkeit kann nicht geschlossen werden. Wie auch beim Kronenansatzmodell kann **ein großer Anteil der Gesamtstreuung durch das Modell erklärt** werden. Dennoch sind Reststreuungen an Einzelbäumen von bis zu ± 6 m möglich. Der niedrige Wert des Variance Inflation Factor und die konstanten Vorzeichen der Parameterschätzer des Modells für unterschiedliche Gruppen von Datensätzen deuten auf eine nur geringe Kollinearität der einzelnen unabhängigen Variablen hin. Die Aufnahme der unabhängigen Variablen in das Modell erfolgte im Rahmen der schrittweisen Regression auch für verschiedene Gruppen von Datensätzen immer in der Reihenfolge Baumhöhe, Brusthöhendurchmesser und Baumalter. Die Baumhöhe erbrachte dabei stets den höchsten Erklärungsbeitrag für die Gesamtstreuung. Trotzdem sollten daraus aufgrund einer möglichen höheren gegenseitigen Abhängigkeit der unabhängigen Variablen (vgl. NUTTO 1999) keine prinzipiellen Bedeutungsunterschiede der einzelnen Variablen abgeleitet werden. Die Tendenz des Modells zur Überschätzung sehr kleiner astfreier Schaftlängen und Unterschätzung astfreier Schaftlängen über 15 m muss jedoch in den Folgerungen beim Baumartenvergleich berücksichtigt werden. Durch die gewählten Gültigkeitsgrenzen lassen sich jedoch Fehlschätzungen gering halten.

Bei der Verwendung des Modells zur astfreien Schaftlänge sind die **Gültigkeitsgrenzen** entsprechend den Vorgaben des Kapitels 4.3.1 (Modellierung der astfreien Schaftlänge) zu beachten. Aufgrund der Datenlage bei dicken und zugleich schnell gewachsenen Eschen und Bergahornen sind Extrapolationen über den festgelegten Gültigkeitsbereich hinaus zur Vermeidung von Inkonsistenzen nicht zulässig (vgl. Kapitel 7.2.2). Die obere Gültigkeitsgrenze des Modells wurde deshalb für die Varianten des durchschnittlichen Radialzuwachses von 4 und 5 mm auf 80 und 60 cm festgelegt. Aufgrund von entsprechenden Überlegungen wurden auch die in Kapitel 4.3.1 genannten Modellgrenzen für Höhenbonitäten und die durchschnittlichen Radialzuwächse festgesetzt.

Im **Vergleich der Ergebnisse des Kronenansatzmodells mit den Ergebnissen des Modells zur astfreien Schaftlänge** wird deutlich, dass mit beiden Modellen eine simultane Berechnung beider Zielgrößen am Einzelbaum durchführbar ist. Es ergeben sich dabei keine Überschneidungen innerhalb der Modellgrenzen. Die modellhafte Kronenansatzhöhe liegt stets über den vorhergesagten Werten der astfreien Schaftlänge.

Mit diesem Modell lässt sich auch die **durchschnittliche 5jährige Verlagerung der astfreien Schaftlänge** für verschiedene Varianten des durchschnittlichen Radialzuwachses modellhaft beschreiben (Abbildung 7-4:). Für Radialzuwächse von 2 bis 5 mm fällt die 5jährige Verlängerung der astfreien Schaftlänge zwischen den Gültigkeitsgrenzen des Modells vom Alter 15 bis 60 bzw. 100 Jahren steil ab und nähert sich am Rande des Gültigkeitsbereichs dem Wert 0. Entsprechend dem parallelen Verlauf zum Kronenansatzmodell verlagert sich auch die astfreie Schaftlänge schnell in jungem Entwicklungsstadium und entsprechend langsam in fortgeschrittenem Alter. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass dies Darstellungen eines modellhaften Verlaufs sind. Die tatsächliche Verlagerung des Kronenansatzes und Veränderung der astfreien Schaftlänge verläuft nicht als stetiger Prozess, sondern diskontinuierlich (vgl. Abbildung 4-16) und ist größeren Schwankungen unterworfen. Die Möglichkeit, den Kronenansatz oder die astfreie Schaftlänge auf einer bestimmten Höhe anzuhalten, wurde im Kapitel 6.1 untersucht.

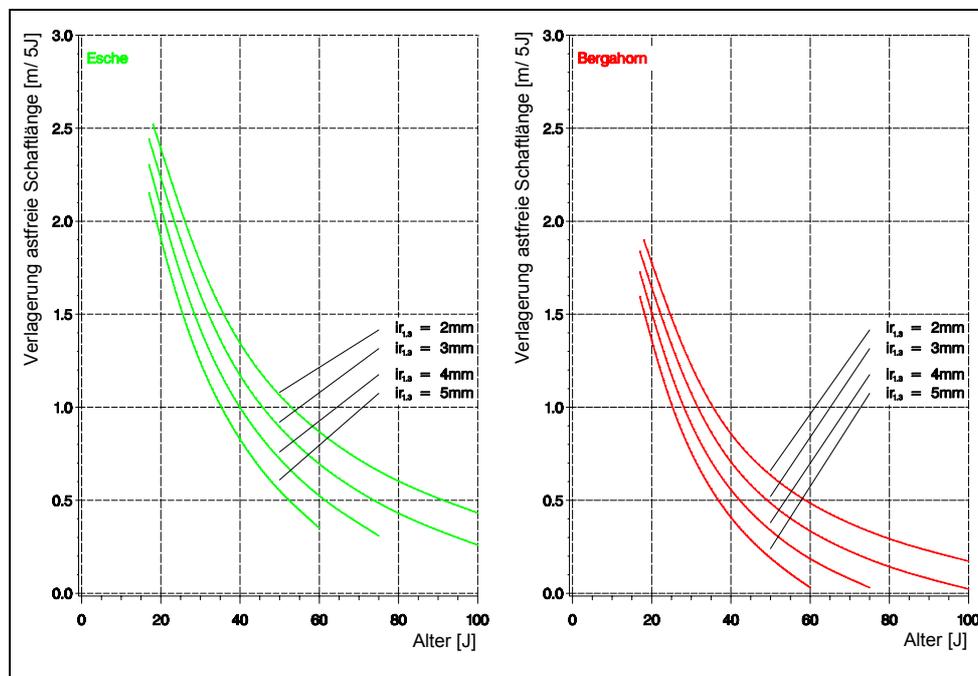


Abbildung 7-4: Modellhafte Verlagerung der astfreien Schaftlänge über einen Zeitraum von 5 Jahren für verschiedene Varianten durchschnittlichen Radialzuwachses in 1,3 m Schafthöhe für Esche (Höhenbonität 33 m) und Bergahorn (Höhenbonität: 30 m), Bestandesbäume.

Für die Höhenbonitäten 33 bis 27 m der Esche betragen die Unterschiede der nach dem Modell zu erwartenden astfreien Schaftlänge für Eschen von 60 cm Zieldurchmesser bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 3 mm insgesamt 4,6 m (Abbildung 7-5:; vgl. auch SPIECKER (1991)). Die Unterschiede für Bergahorn betragen bei gleichem durchschnittlichem Radialzuwachs für die Höhenbonität 30 bis 24 m insgesamt 3,6 m. Der

modellhafte Gewinn an astfreier Schaftlänge für Standorte besserer Höhenbonität lässt sich auch durch Umformung der Gleichung 4 (Kapitel 4.3.1) berechnen: er beträgt entsprechend der Notation des Modells zur astfreien Schaftlänge:

$$\begin{aligned} \text{Modellhafter Gewinn an astfreier Schaftlänge (Bon. 33 - 27 m)} = \\ 0,771 * (h_{\text{Bon}33\text{m}, 100\text{J}, 60\text{cm}} - h_{\text{Bon}27\text{m}, 100\text{J}, 60\text{cm}}) = 4,6 \text{ m (Esche)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Modellhafter Gewinn an astfreier Schaftlänge (Bon. 30 - 24 m)} = \\ 0,634 * (h_{\text{Bon}30\text{m}, 100\text{J}, 60\text{cm}} - h_{\text{Bon}24\text{m}, 100\text{J}, 60\text{cm}}) = 3,6 \text{ m (Bergahorn)} \end{aligned}$$

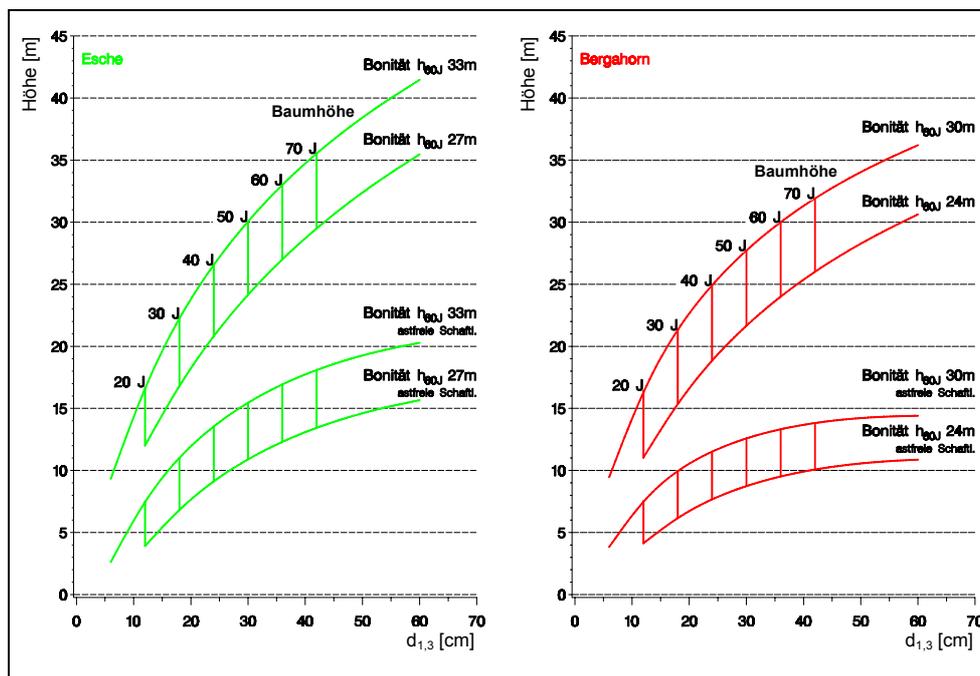


Abbildung 7-5: Einfluss der Höhenbonität auf die Baumhöhe und die astfreie Schaftlänge bei Esche (links) und Bergahorn (rechts). Unterstellter durchschnittlicher Radialzuwachs in 1,3 m: 3 mm, Höhenbonität: 33 und 27 m, Bestandesbäume.

Im **Baumartenvergleich** zeigen sich auch hier Unterschiede zwischen Esche und Bergahorn. Da dem Modell zur astfreien Schaftlänge ein unterstellter Höhenwachstumsverlauf zugrunde liegt, müssen beim Baumartenvergleich jedoch auch die prinzipiellen Unterschiede der Baumarten im Höhenwachstum berücksichtigt werden (s. Kapitel 4.1.1 und 7.3.1 sowie Abbildung 4-7). Zum Vergleich von Esche und Bergahorn werden hier zusätzlich die Ergebnisse von SPIECKER (1991) zur Eiche hinzugezogen. Dabei wird eine Wachstumssituation innerhalb der Gültigkeitsgrenzen aller drei Modelle ausgewählt: durchschnittlicher Radialzuwachs: 2 mm, Brusthöhendurchmesser: 30 cm, Baumalter: 75 Jahre. Nach der Eichenertragstafel von ZIMMERLE (1930) wird in diesem Alter auf der besten Bonität eine Mittelhöhe des bleibenden Bestandes von 25 m erreicht. Bei gleichem

Baumalter wird eine annähernd vergleichbare Höhe von 24,4 m für Esche (Höhenbonität 21 m im Alter 60 J) erreicht; Bergahorn: 23,9 m in 75 Jahren, (Höhenbonität 21 m im Alter 60 J). Nach SPIECKER (1991) erreicht die Eiche in dieser Situation eine Höhe des untersten Totastes von 10,7 m. Die astfreie Schaftlänge für Esche wird auf 11,7 m und für Bergahorn auf 10,6 m vorhergesagt. Dabei muss jedoch der methodische Unterschied zwischen den beiden Vorhersagegrößen berücksichtigt werden. Bei annähernd gleicher Baumhöhe ist somit bei der Esche mit einer nur geringfügig höheren astfreien Schaftlänge als bei Eiche und Bergahorn zu rechnen. Entscheidend ist jedoch das Höhenwachstum: es wird die beste Eichenbonität mit einer schlechten Eschen- und Bergahornbonität verglichen. Bei einer Gegenüberstellung der jeweils besten Bonität jeder Baumart tritt der Unterschied in der Astreinigung viel deutlicher hervor. Zusätzlich ist dann eine Baumhöhe von 25 m für Esche und Bergahorn in deutlich kürzerer Zeit zu erreichen: Esche: 37 J, astfreie Schaftlänge 14,1 m (2 mm), Bergahorn: 41 J, astfreie Schaftlänge 12,9 m (2 mm).

Soll der modellhafte Verlauf der astfreien Schaftlänge vorhergesagt werden, ist jedoch nicht nur die in einem Alter erreichbare Endhöhe bedeutsam, sondern auch der gesamte Verlauf des Höhenwachstums. Die aus der Literatur für die Baumarten Esche und Bergahorn bekannten modellhaften Höhenwachstumsverläufe weisen in dieser Hinsicht große Unterschiede auf (vgl. Kapitel 7.3.1). Als Grundlage für die Vorhersage der Höhe des Kronenansatzes können sich somit beträchtliche Unterschiede ergeben. Zur Illustration dieses Phänomens wurden zwei Höhenwachstumsverläufe und die dazu berechneten astfreien Schaftlängen gegenübergestellt (Abbildung 7-6:). Nach dem Höhenwachstumsverlauf der Oberhöhenbonität $dGz_{100} = 10$ von Sterba, die aus ungarischen Modellen weiterentwickelt wurde, kann ein Baum im Alter von 100 Jahren eine Höhe von ca. 35 m erreichen. Eine vergleichbare Höhe erzielen in diesem Alter auch Eschen nach dem Modell von KNORR (1987) (Mittelhöhe der II. Bonität - obere Grenze). Im Verlauf des Höhenwachstums ergeben sich jedoch Höhendifferenzen von bis zu 8,5 m. Es wird deutlich, dass die vorgelegten Modelle zur Vorhersage der astfreien Schaftlänge wie auch des Kronenansatzes immer im Bezug zu dem Höhenwachstumsverlauf gesehen werden müssen, der der Datengrundlage vergleichbar ist. Im Extremfall sind unplausible Ergebnisse mit hohen Abweichungen zu erwarten.

Über **Annahmen zur Schaftform** können mit dem Modell zur astfreien Schaftlänge quantitative Aussagen zur inneren Ästigkeit getroffen werden. Da zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden Arbeit noch keine Berechnungen zur Schaftform der gefällten Bäume vorlagen⁴⁸, wurde auf Arbeiten von DAGNELIE et al. (1999) und IN et al. (1972) zurückgegriffen. Die Untersuchungen von WIMMENAUER (1918) zur Schaftform der Esche wurden wegen ihrer sehr lokalen Herkunft und ihres geringeren Umfangs für die hier angestellten Berechnungen nicht verwendet.

⁴⁸ vgl. THIES (2003): „Die Schaftform von Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) unter besonderer Berücksichtigung der Kronenkonkurrenz“

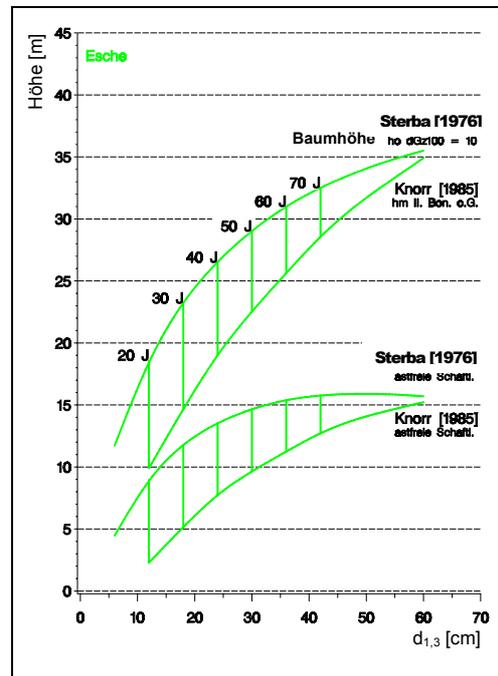


Abbildung 7-6: Einfluss des Höhenwachstumsverlaufs auf die Baumhöhe und die Vorhersage der astfreien Schaftlänge am Beispiel Esche, unterstellter durchschnittlicher Radialzuwachs in 1,3 m: 3 mm, Vergleich Oberhöhe $dGz_{100} = 10$ nach STERBA (1976) und Mittelhöhe II. Bonität o.G. nach KNORR (1987), Bestandesbäume.

Durch Rotation der Schaftform, des asthaltigen Kerns kann **ein dreidimensionales Abbild eines modellhaften Schaftausschnittes** erzeugt werden. Damit können die gemessenen, vollständig überwallten Äste eines Baumes in ihrer tatsächlichen räumlichen Lage dargestellt werden (Abbildung 7-7:). Gegenüber der zweidimensionalen Darstellung (vgl. Abbildung 4-18:) wird deutlich, dass der tatsächliche, gemessene asthaltige Kern des Baumes nicht im gesamten Messabschnitt den modellhaft berechneten Kern überschreitet. Je nach Exposition des einzelnen Astes im Raum kann der asthaltige Kern an dieser Stelle deutlich unterschiedliche Werte aufweisen. Auf diese Weise wird es zugleich möglich, auch erste Rückschlüsse auf frühere Kronenformen des Baumes zu ziehen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Methodik der Vermessung überwallter Äste nur in den Schaftbereichen angewendet werden kann, wo äußere Schaftmerkmale auch überwallte Äste vermuten lassen. Im vorliegenden Fall war dies erst ab einer Höhe am Schaft von 5,60 m möglich. Durch Zerstörung von überwallten Ästen beim Aufsägen können sich zusätzlich Lücken bei der Darstellung des tatsächlichen, gemessenen asthaltigen Kerns von Einzelbäumen ergeben.

Aus den Modellergebnissen wird deutlich, dass mit zunehmendem Dickenwachstum der asthaltige Kern bei gleichem Höhenwachstum zunimmt. Bessere Höhenbonitäten weisen bei einem bestimmten Dickenwachstum dagegen geringere Breiten des asthaltigen Kerns in

einer bestimmten Schafthöhe auf. Diese Zusammenhänge sind für Esche und Bergahorn gültig.

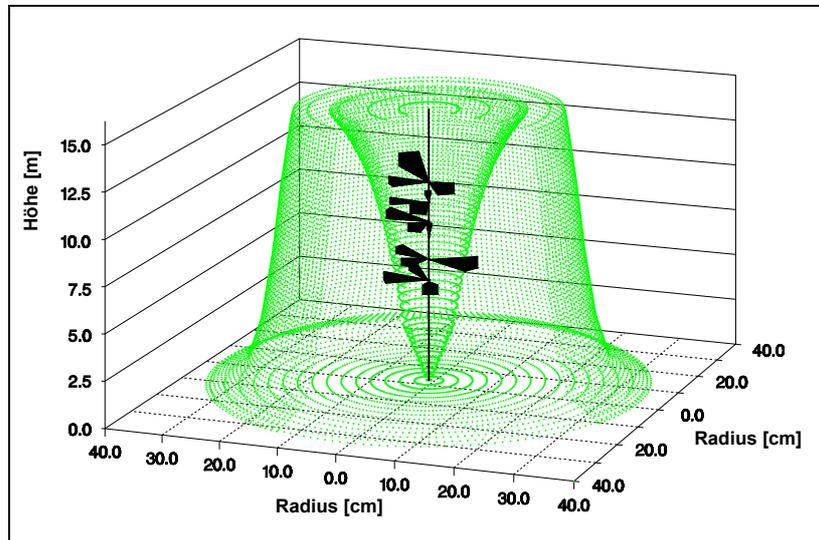


Abbildung 7-7: Dreidimensionale Darstellung des gemessenen asthaltigen Kerns eines Baumes zusammen mit dem modellhaften asthaltigen Kern für die Radialzuwachsvariante 4 mm, Bestandesbäume. (Esche: Baum Sp01_5-1, durchschnittlicher Radialzuwachs = 4,0 mm, Messung überwallter Äste von 5,60 m Höhe am Schaft bis zum Kronenansatz, Astdurchmesser vertikal 20-fach überhöht, asthaltiger Kern und Schaftäußeres auf 90° geöffnet, – vgl. dazu auch Abbildung 4-18).

Die Entwicklung der astfreien Schaftlänge an **Solitären** zeigt die gleiche Dynamik wie die Entwicklung des Kronenansatzes. Nur an zwei Eschen wurden Totäste festgestellt. Die sehr geringen astfreien Schaftlängen sind dabei als Maximalwerte der astfreien Schaftlänge anzusehen, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass im Zuge intensiver landwirtschaftlicher Nutzung der Umgebung von Solitären Äste entfernt wurden. Es ist auch möglich, dass in frühen Entwicklungsstadien Hecken oder krautige Vegetation zu einem Absterben der untersten Kronenäste geführt haben.

Der Zusammenhang zwischen Höhenbonität und der Entwicklung der astfreien Schaftlänge ermöglicht es, **Produktionsziele** mit einer zahlenmäßigen Aussage zur Holzqualität zu ergänzen (Kapitel 6.3). Es konnten dabei erstmalig quantitative Aussagen zum Zusammenhang von Z-Baum-Anzahl, Produktionszeit, Zieldurchmesser und der astfreien Schaftlänge für die Baumarten Esche und Bergahorn getroffen werden. Dabei sollte speziell auf die Dynamik der Astreinigung bei Baumarten mit früher Kulmination des Höhenwachstums hingewiesen werden. Die in Abhängigkeit von Höhenbonitäten und Produktionszielen dargestellten Entscheidungshilfen sollten dabei die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten verdeutlichen. Aufgrund der Vielzahl aller prinzipiell möglichen Zielvorstellungen bei der Produktion von Wertholz mit Esche und Bergahorn musste sich die Darstellung auf die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten beschränken.

7.3.4 Wachstum und Überwallung von Primärästen

Das Wachstum der Primäräste stellt die Grundlage der Kronenentwicklung dar. Dabei beeinflusst die Astlängenentwicklung die Kronenform. Die Astdurchmesser dagegen sind von Bedeutung für die Holzqualität. Für zahlreiche Baumarten sind straffe Zusammenhänge zwischen **Astlänge und Astdurchmesser** bekannt: z.B. ABETZ & MERKEL (1968) für Fichte, BURK et al. (1983) sowie DELEUZE et al. (1996) für Pappelarten und NUTTO (1999) für Eiche. Auch für Eschen- und Bergahornäste konnte ein solcher Zusammenhang bestätigt werden. Dabei waren keine signifikanten baumartspezifischen Unterschiede zu beobachten.

Das Modell zum Zusammenhang Astlänge – Astdurchmesser konnte durch Integration des **Astansatzwinkels** als weiterer unabhängiger Variablen nicht weiter verbessert werden. Es ließen sich ebenfalls keine Unterschiede im Astwinkel für Äste aus verschiedenen Teilen der Krone nachweisen. Auch CLUZEAU et al. (1994) konnten keine signifikanten Unterschiede im Ansatzwinkel des jeweils stärksten Astes von unterschiedlich alten Eschen erkennen⁴⁹. Ebenso fand VAN MIEGROET (1956) in Eschendickungen keinen Zusammenhang zwischen Astansatzwinkel⁵⁰ und Strukturparametern der Untersuchungsbestände. Längere Eschenäste wiesen jedoch tendenziell steilere Ansatzwinkel auf.

Nach Untersuchungen von ENGLER (1924) sowie BOZZUTO & WILSON (1988) unterliegen Winkelmessungen an Ästen durch die schwankende Gewichtsbelastung im Jahresablauf saisonalen Variationen. Auch Veränderungen im Lebenslauf des Baumes können auftreten. Auch der von OLIVER-VILLANUEVA (1993) gefundene Zusammenhang, wonach Eschen aus weitständiger Erziehung flachere Astansatzwinkel haben, konnte am vorliegenden Datenmaterial nicht bestätigt werden.

Die **Astlängenentwicklung** ist von mehreren Faktoren bestimmt. Mit der Baumart sind grundsätzliche Eigenschaften der Kronenarchitektur festgelegt. Witterungsbedingungen (z.B. KRAUSE 1992) aber auch Veränderungen des Standraums führen zu Veränderungen des Astlängenwachstums und damit der Kronenform in vertikaler oder horizontaler Richtung. Über die Steuerung der Konkurrenz können die Standraumverhältnisse des Einzelbaums verändert werden. Damit werden auch die Astlängenzuwächse an dem Teil der Kronenperipherie beeinflusst, an dem die Konkurrenz wirksam ist. An der Kronenspitze wurden deshalb die Astlängenzuwächse der 2 bis 4jährigen Äste über dem entsprechenden Baumalter dargestellt. Dies geschah mit der Annahme, dass in diesem Bereich eine Reduktion des Astlängenwachstums über die seitliche Konkurrenz von Baumnachbarn sehr gering ist. Der Verlauf dieser Astlängenzuwächse über dem Baumalter weist einen ähnlichen Verlauf auf wie der Höhenzuwachsverlauf in Abhängigkeit vom Baumalter. Dies kann als Hinweis auf die Altersabhängigkeit auch des horizontalen Kronenausdehnungsvermögens gewertet werden. Die ih/is-Relation beschreibt das Verhältnis von Höhenzuwachs zu Astlängenzuwachs für einzelne Jahre bei 2 bis 4jährigen Ästen (vgl. Kapitel

⁴⁹ Als Mittelwert für weitere Berechnungen verwendeten CLUZEAU et al. (1994) deshalb ein Winkel von 30°. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Ansatzwinkel nach dieser Autorin dabei über eine Sehne ermittelt wurde, die die Astspitze mit dem Astansatzpunkt am Schaft verbindet. Dies hat tendenziell kleinere Winkel zur Folge.

⁵⁰ In der Terminologie von VAN MIEGROET (1956): „Astansatzwinkel“ definiert als Winkel zwischen Schaftachse und den untersten 3 cm des Astes.

4.4.2). Da der Verlauf dieser Relation über das gesamte Baumalter kaum Veränderungen aufweist, kann auch dieses Ergebnis als Hinweis auf den parallelen Verlauf von Höhen- und Astlängenzuwachs über dem Baumalter angesehen werden. Als vereinfachende Annahme kann für beide Baumarten von einem Verhältnis von jährlichem Höhenzuwachs und Astlängenzuwachs von 2:1 unabhängig vom Baumalter ausgegangen werden. Dies gilt jedoch nur für Astalter von 2 bis 4 Jahren. Da die Astlängenzuwächse mit zunehmendem Baumalter abnehmen, kann dies als Hinweise gesehen werden, dass auch die Kronenexpansionsfähigkeit – hier dargestellt anhand der Astlängenzuwächse der Astalter 2 bis 4 Jahre - einem baumaltersspezifischen Trend folgt. Mit zunehmendem Baumalter lässt somit die Fähigkeit des Baumes nach, seine Kronen in horizontale Richtung auszudehen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass damit jedoch eine Aussage nur über den schaftnahen Kronenbereich getroffen werden kann. Zur Fähigkeit von Ästen, die sich im direkten Kontaktbereich von Nachbarkronen befinden, ihren Längenzuwachs nach Freistellung zu erhöhen, können aufgrund dieser Untersuchung keine Aussagen getroffen werden. Die Kronenexpansionsfähigkeit bezieht sich somit ausschließlich auf die hier untersuchte Altersstufe von Ästen.

Nach den von MATTHECK & KÜBLER (1997) beschriebenen Mechanismen des adaptiven Wachstums, die einen Beitrag zur Klärung der Wuchsformen von Baumschäften und Ästen leisten konnten, waren **Unterschiede zwischen den horizontalen und vertikalen Astdurchmessern** durch Bildung von Reaktionsholz zu erwarten („mechanical self optimization“). Entsprechende Ergebnisse konnten auch von NUTTO (1999) an Eichenästen vorgelegt werden. Zwar ließen sich Unterschiede mit der erwarteten Tendenz in der vorliegenden Untersuchung für Esche und Bergahorn aufzeigen, deren Signifikanz ließ sich jedoch nicht bestätigen. Da Reaktionsholzbildung und im vorliegenden Fall eine ovale Form des Astquerschnittes durch faserreiches Zugholz jedoch nur auftreten kann, wenn die mechanische Belastung ausreichend ist SCHWEINGRUBER (2001), könnte das vorliegende Ergebnis auch durch das zu geringe Ausmaß solcher Einflüsse erklärbar sein. Ergänzende Studien an besonders windexponierten oder einseitig belasteten Ästen dieser Baumarten könnten einen Beitrag zur Klärung dieser vorläufigen Annahme leisten.

Für beide Baumarten konnte der **Radius des asthaltigen Kerns** anhand eines einfachen Modells beschrieben werden. Der Durchmesser des überwallten Astes, der Astansatzwinkel (nur Esche) und der mittlere Radialzuwachs zur Lebenszeit des Astes können in einem multiplen Regressionsmodell 71 % beziehungsweise 66 % der Gesamtstreuung erklären. Dabei ist mit zunehmendem Radialzuwachs, zunehmendem Astdurchmesser und zunehmendem Astansatzwinkel ein größerer asthaltiger Kern zu erwarten. Gegenüber anderen Modellen zur Schätzung der Breite des asthaltigen Kerns oder der Breite der Überwallungszone (z.B. PETRUNCIO et al. (1997) an Douglasie sowie O'HARA & BUCKLAND (1996) an *Pinus ponderosa* liegt die Besonderheit darin, dass hier eine Schätzung des asthaltigen Kerns für natürliche Astreinigung vorliegt. Neben Dimensionsgrößen des überwallten Astes werden teilweise auch Wachstumsgrößen des Baumes (z.B. Radialzuwachs) oder qualifizierende Parameter der Ästung (z.B. Ästungsqualität, Stummellänge) in die Modellformulierung mit einbezogen. Im Vergleich des Modells von MÄKINEN (1999) zur Breite des asthaltigen Kerns an Fichte nach Ästung anhand von

Bestandesgrößen liegt der Vorteil des hier vorgestellten Modells in der einzelastweisen Schätzung.

Mit dem Absterben und der nachfolgenden **Überwallung** der Äste ist die Breite des asthaltigen Kerns festgelegt. Zur Analyse der Überwallungsdauer wurden an vollständig überwallten Primärästen die Absterbe- und Überwallungszeitpunkte in jährlicher Auflösung ermittelt. Die Analyse der Überwallungsdauer nach natürlicher Astreinigung in Abhängigkeit vom Astdurchmesser oder dem durchschnittlichen Radialzuwachs in der Überwallungszeit zeigte große Streuungen der Überwallungsdauer. Die nicht durch die Ausgleichsfunktion klärbare Reststreuung von 52 % bei Esche und 36 % bei Bergahorn könnte auf weitere hier nicht erfasste Größen zurückzuführen sein: die Lage der Schnittfläche relativ zum Astverlauf, die Qualität der Schnittoberfläche, Kambialverletzungen, aber auch die Anzahl der je Baum entnommenen Äste und ihre Entfernung zum Kronenansatz. Zur Überwallungsdauer nach Ästung liegen nur wenige Untersuchungen vor. Untersuchungen von PETRUNCIO et al. (1997) an Douglasie sowie MÄKINEN (1999) an Kiefer zur Überwallungsdauer von geästeten Ästen zeigen jedoch auch dort große Streuungen der Überwallungsdauer. Mit dem vorliegenden multiplen Modell zur Überwallungsdauer konnte jedoch ein vergleichsweise hoher Anteil an Gesamtstreuung geklärt werden. Die in dieser Arbeit verwendete Modellformulierung ist dabei dem Modell von PETRUNCIO et al. (1997) angelehnt. Entsprechend den geringeren mittleren Radialzuwachsen wurden bei der Untersuchung von MÄKINEN (1999) an Kiefer trotz Ästung deutlich längere Überwallungszeiträume festgestellt (40 Jahre im Mittel). Zur weiteren Analyse wurde auch die Überwallungsgeschwindigkeit (Astdurchmesser/ Überwallungsdauer) in Abhängigkeit vom Radialzuwachs in der Überwallungszeit entsprechend einem Modell von NUTTO (1999) berechnet. Dieses Modell konnte jedoch für beide Bauarten weniger als 5 % der Gesamtstreuung klären. Auch der Astwinkel als weitere erklärende Variable brachte keine Verbesserung des Modells. Diese Ergebnisse stehen im Unterschied zu Untersuchungen von NUTTO (1999), der zwischen dem durchschnittlichen Radialzuwachs in der Überwallungszeit und der Überwallungsgeschwindigkeit einen straffen Zusammenhang feststellen konnte. Eine mögliche Begründung für diese Unterschiede könnte im Datenmaterial der vorliegenden Untersuchung liegen, das eine wesentlich größere Spanne an Radialzuwachsen und Astdurchmessern umfasst. Möglicherweise kann auch baumartenspezifisches Wachstum zur Klärung dieses Unterschieds beitragen.

Die vorgestellten Modelle zur Überwallung von Primärästen ermöglichten auch einen direkten **Vergleich der Überwallungsdauer nach natürlicher und künstlicher Astreinigung**. Nach Ästung verkürzt sich die Überwallungsdauer beträchtlich. Zusätzlich kann die Überwallungsdauer durch große Radialzuwächse verringert werden. Auch WINTERFELD (1955) beobachtete an der Buche eine - zweimal - schnellere Überwallung nach Ästung im Vergleich zur natürlichen Astreinigung. Untersuchungen von ZIEREN (1970) an der Esche sowie von MAYER-WEGELIN (1952) bestätigen dies. Aufgrund der großen Variation der Überwallungsdauer wurde der totasthaltige Anteil des asthaltigen Kerns untersucht. Dieser Anteil weist eine beträchtliche Schwankung über dem Astdurchmesser auf. Offensichtlich ist das Abbruchverhalten abgestorbener Äste, beziehungsweise der Ort des Abbruchs in Schaftnähe unabhängig vom Astdurchmesser für den untersuchten Astdurchmesserbereich

sehr starken Variationen unterworfen⁵¹. Zusätzlich könnten auch die Lage der Abbruchfläche relativ zum Astverlauf, die Form des Abbruchs, aber auch die Entfernung zum Kronenansatz zu dieser Variation beitragen. und eventuell vorhandene Zusammenhänge zwischen der Überwallungsdauer und Astmessgrößen überlagern. Nach VOLQUARDTS (1960) brechen die Eschenäste umso näher am Stamm ab, je waagrecht die Aststellung ist. Diese von ihm ohne weitere Vermessung gemachte Beobachtung konnte am vorliegenden Datenmaterial nicht bestätigt werden. Es ließ sich kein Zusammenhang zwischen dem Astwinkel und dem Radius des Totastanteils im asthaltigen Kern nachweisen.

Zu beachten ist jedoch, dass nach der vollständigen Überwallung zunächst mit einer Störzone durch gebogen verlaufende Jahrringe zu rechnen ist PETRUNCIO et al. (1997). Erst danach kann Wertholzproduktion stattfinden. Dies gilt auch für Ästung zur Produktion von Wertholz.

Äste von Solitären weisen einen anderen Zusammenhang zwischen Astlänge und Astdurchmesser auf. Im Vergleich zu Bestandesbäumen sind Äste von Eschen- wie auch von Bergahornsolitären bei einer bestimmten Astlänge überproportional dick. Aufgrund der geringen Anzahl von Beobachtungen wurde keine Unterscheidung nach Baumarten vorgenommen. Untersuchungen zu Ästen von Solitären anderer Baumarten stehen zurzeit für Vergleiche nicht zur Verfügung.

7.3.5 Ästung von Esche und Bergahorn

Mit der Ästung wird eine Verbesserung der Wertholzproduktion angestrebt (z.B. MAYER-WEGELIN 1952, LEIBUNDGUT et al. 1976, HUBERT & COURRAUD 1994, SPIECKER 1994). Dabei wird ein Mindestverhältnis von 1/3 asthaltigem Kern und 2/3 astfreiem Mantel für qualitativ hochwertiges Laubrundholz angestrebt (SCHULZ 1959). Jedoch liegen aufgrund der relativ guten Astreinigung nur wenige Untersuchungen zur Ästung an Esche und Bergahorn vor. BULFIN & RADFORD (1998a) berichten von qualitativ unbefriedigenden Erstaufforstungen mit verschiedenen Laubbaumarten in Irland: Formschnitte brachten dort bei frühzeitiger Durchführung deutliche Verbesserungen der **Schaftform**. BALANDIER (1997) sowie LEDGARD & GILLER (1998) bestätigen dies für Bergahorn und Esche.

Die Analyse der **Überwallungsdauer** an geästeten Ästen von Esche und Bergahorn hat aufgrund des geringen Datenumfanges lediglich explorativen Charakter. Die Überwallungsdauer in Abhängigkeit von Astdurchmesser und Radialzuwachs weist eine im Vergleich zur Überwallung nach natürlicher Astreinigung deutlich reduzierte Streuung auf. Im Unterschied zur natürlichen Astreinigung jedoch ist die Überwallungsdauer wesentlich verkürzt. Dennoch ist zu beachten, dass die gemeinsame Ausgleichsfunktion bei einer baumartenweisen Betrachtung den Radius des asthaltigen Kerns der geästeten Eschen überschätzt und denjenigen des Bergahorns unterschätzt. Wegen des explorativen Charakters der Auswertung und des Ziels eine der natürlichen Astreinigung vergleichbare regressions-

⁵¹ Zu Pilzen als die natürliche Astreinigung von Esche und Bergahorn in variabler Form beeinflussende Faktoren vgl. (BUTIN & KOWALSKI (1986).

analytische Bearbeitung durchzuführen, wurde die gemeinsame Berechnung für beide Baumarten beibehalten.

Dies wird für Ästungsversuche an Eiche, Buche, Esche und Bergahorn bestätigt (MAYER-WEGELIN 1952, WINTERFELD 1955, ZUMER 1966, ZIEREN 1970). Zusätzlich liegt die Überwallungsdauer besonders wegen der mit einer Ästung meist verknüpften Standraumerweiterungen deutlich niedriger. Entscheidender Unterschied zur Überwallung nach natürlicher Astreinigung ist jedoch, dass mit der Grünästung kein oder nur ein geringer⁵² totasthaltiger Kern entsteht und damit der Radius des asthaltigen Kerns deutlich reduziert werden kann. Die Darstellung des Anteils des totasthaltigen Kerns bei natürlicher Astreinigung zeigte unabhängig vom Astdurchmesser eine große Variation von 0 bis 5 cm. Grünästung kann somit durch Reduktion dieses totasthaltigen Kerns die gesamte Breite des asthaltigen Kerns beträchtlich reduzieren. Zusätzlich ist mit einem deutlich beschleunigten Verschluss der Ästungswunde zu rechnen. Es ist allerdings zu beachten, dass die Überwallungszeit auch durch die Art der Schnittführung beeinflusst werden kann (DUJESIEFKEN & LIESE 1988, LIESE et al. 1988). DUJESIEFKEN et al. (1998) beobachteten an Eiche, Pappel, Linde und Roßkastanie nach stammparalleler Schnittführung eine um 25 % verbesserte Kallusbildung im Vergleich zum Schnitt entlang des Astkragens. Allerdings wiesen die Ästungswunden auch bis zu dreifach vergrößerte Wundflächen auf. Stammparallele Schnitte mit Verletzung des Schaftholzes führten nach Untersuchungen von LONSDALE (1993) an der Buche zu starken Verfärbungen im Stamminneren. Zusätzlich zum Astdurchmesser und Radialzuwachs in der Überwallungszeit verwendeten PETRUNCIO et al. (1997) Schaftformparameter, die Stummellänge sowie die Glätte des Ästungsschnittes, um die Überwallungszeit vorherzusagen. Ein vergleichbares Modell konnte im vorliegenden Fall aufgrund des geringen Datenumfanges für geästete Äste allerdings nicht getestet werden.

Die Analyse der Überwallung geästeter Äste erfolgte nur in jährlicher Auflösung. Eine genaue **Erfassung des Ästungszeitpunktes** innerhalb des Jahresablaufes wäre nur mit unverhältnismäßig großem Untersuchungsaufwand durchführbar gewesen. Empfehlungen hinsichtlich geeigneter Zeitpunkte im Jahresablauf einer Ästung an Esche und Bergahorn können somit aus dieser Untersuchung nicht getroffen werden. BALANDIER (1997) sowie HUBERT & COURRAUD (1994) empfehlen jedoch die Durchführung von Formschnitten in den Monaten Juni und Juli, da zu diesem Zeitpunkt zum einen durch Spätfrost verursachte Formfehler gut sichtbar werden und zudem aufgrund der noch geringen Verholzung der Sprossachse ein eigenständiges Aufrichten des jüngsten Höhenzuwachses gut möglich ist. Zu diesen Folgerungen kommen auch REMPHREY & DAVIDSON (1992) und DAVIDSON & REMPHREY (1994) an *Fraxinus pennsylvanica*. Dagegen empfiehlt MAYER-WEGELIN (1952) generell, sowie SOUTRENON (1991) allgemein für Laubbäume und WINTERFELD (1955) speziell für Buche, die Ästung zum Ausgang des Winters oder zum Frühjahrsbeginn, mit der Ausnahme, daß der Bergahorn zur Vermeidung von Infektionen wegen des starken Saftflusses nicht im Frühjahr geästet werden sollte. KRAMER & KOZLOWSKI (1960) empfehlen Ästungen zum beginnenden Frühjahr, da zu diesem Zeitpunkt der Aufbau einer Schutzzone am schnellsten erfolgen kann. Auch DUJESIEFKEN et al. (1988) beobachteten

⁵² Für den Fall, dass ein kleiner Stummelrest bei einer Grünästung belassen wird.

die stärksten Überwallungswülste und geringsten Kambialnekrosen nach im Frühjahr (März, April) künstlich angelegten Stammverletzungen.

Ebenso waren **Reaktionen von Höhen- oder Dickenzuwachs** nach Ästung nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Dies kann jedoch einen Teil der Streuung im Zusammenhang mit der Überwallungsdauer nach Ästung erklären. BULFIN & RADFORD (1998b) berichten beispielsweise von reduziertem Durchmesserzuwachs an Eschen und Bergahornen sowie anderen Baumarten nach Formschnitten, bei denen Zwiesel, Steiläste und sehr starke Äste über die gesamte Kronenlänge entfernt wurden. Hinsichtlich des Höhenzuwachses konnte ein leichter, jedoch signifikanter Anstieg nachgewiesen werden. Nach ZUMER (1966), ZIEREN (1970), SCHLESINGER (1978) sowie HOCHBICHLER et al. (1990) können bis zu 50 % der grünen Krone entfernt werden, ohne dass Einbußen im Durchmesser- und Höhenwachstum zu beobachten sind. Erst nach einer Reduktion der grünen Krone ab 75 % traten Durchmesserzuwachsverluste auf. Teilweise fand sogar eine Steigerung des Höhenzuwachses statt (ZUMER 1966).

ZUMER sowie ZIEREN hält die **Fäulnisgefahr und Verfärbung des Stammholzes nach Grünästung** von Eschen bei Schnittwunden bis 4 – 6 cm Durchmesser für unbedeutend (ZUMER 1966, ZIEREN 1970). Dabei wurde jedoch nicht die Art der Schnittführung als möglicher Einflussfaktor berücksichtigt (vgl. SHIGO & MARX 1977, SHIGO et al. 1978, GRENN et al. 1981, DUJESIEFKEN et al. 1998).

7.3.6 Auftreten von lebenden Sekundärästen

Sekundäräste treten in Abhängigkeit von Umweltfaktoren in unterschiedlicher Häufigkeit auf (SPIECKER 1991). Sie stellen im Hinblick auf die Holzqualität eine deutliche Wertminderung für das produzierte Rundholz dar. Das tatsächliche Austreiben dieser meist proventiven Knospen kann durch die Art der Durchforstung, das Baumalter oder durch Standortmerkmale beeinflusst werden. Auch Bestandesstrukturen, wie die Schaftumantelung durch einen Nebenbestand, können das Auftreten von Sekundärästen beeinflussen. Auch die Entstehung von Sekundärästen aus adventiven Knospen nach einer Verletzung des Kambiums ist möglich. Während zur Sekundärästenentwicklung bei den Eichenarten umfangreiche Arbeiten durchgeführt wurden (z.B. SPIECKER 1991), liegen bislang für Esche und Bergahorn zu diesem Thema keine quantitativen Analysen vor. In der vorliegenden Untersuchung wird das Auftreten von Sekundärästen an Esche und Bergahorn erstmals quantitativ untersucht. Die Untersuchung konzentrierte sich dabei auf lebende Sekundäräste.

Mit sinkender **sozialer Klasse** nimmt sowohl bei Esche wie auch bei Bergahorn die relative Häufigkeit der Bäume mit Sekundärästen zu. Auch VON WEDEL (1964) fand vermehrte Bildung von Sekundärästen mit sinkender sozialer Klasse. ROLOFF (2001a) erwähnt zudem vermehrtes Austreiben schlafender Knospen an absterbenden Ahornen. Von **Radialzuwachsklasse** 2 bis auf Klasse 5 sinkt bei der Esche die Sekundärästdichte. Für den Bergahorn war diesbezüglich ein Zusammenhang für die Längensklasse der Sekundäräste < 1 m weniger klar zu erkennen. Auch mit zunehmender **relativer Kronenlänge** sinkt die Sekundärästdichte. Dieser Trend ist bei der Esche für beide Längensklassen der Sekundäräste sichtbar. Wiederum ist dieser Zusammenhang für den Bergahorn weniger klar

zu erkennen, auch wenn signifikante Verteilungsunterschiede nachgewiesen werden konnten.

Die **baumartspezifischen Unterschiede** in der Häufigkeit des Auftretens von Bäumen mit Sekundärästen weisen auf eine größere Empfindlichkeit des Bergahorns gegenüber dem Ausbilden von Sekundärästen hin. Es fanden sich im Untersuchungsmaterial sowohl weniger Eschen mit lebenden Sekundärästen als auch eine Tendenz zu einer geringeren Sekundärastdichte. Dabei sind diese baumartspezifischen Unterschiede lediglich für Sekundäräste < 1 m klar ausgeprägt. Endgültige Aussagen lassen sich jedoch erst treffen, wenn auch die Absterbedynamik der Sekundäräste untersucht wird. In diesem Zusammenhang gewinnt eine eingehende Analyse der abgestorbenen Sekundäräste nach Absterbezeitpunkt und Lebensdauer besondere Bedeutung. Zudem ist nur von länger am Schaft verbleibenden Sekundärästen eine in größerem Ausmaß die Holzqualität beeinflussende Wirkung zu erwarten.

Im Vergleich zu **Untersuchungen an der Eiche** (SPIECKER 1991) zeigten sich an Esche und Bergahorn deutlich geringere Sekundärastdichten. Jedoch wurden auch bei der Eiche große Variabilitäten hinsichtlich des Auftretens von lebenden und abgestorbenen Wasserreisern bestätigt. Als allgemeiner Trend war auch bei der Eiche eine signifikante Abnahme der Anzahl lebender Sekundäräste mit steigendem Radialzuwachs zu beobachten. Zudem fanden sich mehr jüngere Sekundäräste an Eichen höherer sozialer Klasse als an Eichen niedrigerer sozialer Klasse. Bei älteren und längeren Sekundärästen drehte sich dieser Trend um.

Auch **Ästung kann zur Ausbildung von Sekundärästen** führen. ZUMER (1966) und ZIEREN (1970) beobachteten erst ab einer Reduktion der grünen Krone von über 50 % an Eschen die Ausbildung von Sekundärästen. FRANC & RUCHAUD (1996) sowie HENRIKSEN & BRYNDUM (1989) berichten auch von der Bildung von Sekundärästen nach plötzlicher **Freistellung** bei Esche bzw. Bergahorn - allerdings ohne eine weitere Quantifizierung der Ergebnisse. Da bei dem vorliegenden Datenmaterial die Freistellungszeitpunkte nicht immer genau bekannt waren, konnte eine diesbezügliche Auswertung nicht vorgenommen werden.

Einschränkend muss zu den vorliegenden Untersuchungen der lebenden Sekundäräste bemerkt werden, dass zufällige Effekte die Ergebnisse beeinflussen können. Durch die festgelegten Auswahlkriterien der Untersuchungsflächen (vgl. Kapitel 2.2) konnte jedoch ausgeschlossen werden, dass z.B. alle vermessenen Bergahornbestände im Gegensatz zur Esche nach langem Dichtstand vor kurzem einer sehr starken Durchforstung unterzogen wurden. Da jedoch auch weitere hier nicht untersuchte Einflussgrößen wie genetische Aspekte, Schaftbeschattung oder standörtliche Gegebenheiten die Häufigkeit des Auftretens von Bäumen mit Sekundärästen beeinflussen können, müssen die hier gefundenen Zusammenhänge stets in Verbindung mit dem Untersuchungsmaterial gesehen werden. Dies gilt insbesondere für die Sekundärastdichte bei Bergahorn in Abhängigkeit von der Radialzuwachsklasse und der relativen Kronenlänge. Dennoch können die Ergebnisse auf baumart- und wachstumsspezifische Tendenzen hinweisen.

7.4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN ZUR DYNAMIK DES DICKENWACHSTUMS

7.4.1 Dickenwachstum und Kronenexpansion

Die Kronenbreite von Esche oder Bergahorn kann mit Hilfe der in Kapitel 5.1.1 dargestellten Gleichungen einfach berechnet werden. Modellhaft wird dabei für ein bestimmtes Baumalter ein durchschnittlicher Radialzuwachs unterstellt. Aus dem bis zu einem bestimmten Baumalter erreichbaren Brusthöhendurchmesser kann damit der erwartete Kronendurchmesser abgeleitet werden. Auf den Zusammenhang zwischen Kronendurchmesser und Brusthöhendurchmesser weisen beispielsweise auch CHISMAN & SCHUMACHER (1940), HUMMEL (1951), MAYER (1958), KRAJICEK et al. (1961), DAWKINS (1963), MITCHELL (1969), CURTIS & REUKEMA (1970), JOBLING & PEARCE (1977), SAVILL (1991) sowie KERR (1996) hin. Die zusätzliche Bedeutung des Baumalters und damit der Geschwindigkeit des Durchmesserwachstums wurde von SZAPPANOS (1984), HOCHBICHLER & KRAPFENBAUER (1988), HAHN (1995) SPIECKER (1991), sowie NUTTO (1999), LAVNY (2000) und NUTTO & SPIECKER (2000) für verschiedenen Laubbaumarten herausgestellt. Dabei ist zu beachten, dass der Einfluss der Wachstumsgeschwindigkeit beträchtlich sein kann: beispielsweise ist die Kronenbreite einer Esche, die eine Zieldimension von 60 cm mit einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 5 mm erreicht hat, um 2,0 m größer als bei einem durchschnittlichen Radialzuwachs von 2 mm (Bergahorn: 1,4 m). Somit benötigen jüngere Bäume, um den gleichen Schaftdurchmesser in 1,3 m Höhe zu erreichen, eine größere Krone als ältere Bäume.

Bei einem **Vergleich verschiedener Baumarten** hinsichtlich ihrer Kronenbreitenentwicklung mit Hilfe der Steigungsparameter des funktionalen Zusammenhangs Kronenbreite - Brusthöhendurchmesser ist deshalb zunächst auch immer das Baumalter und damit die Geschwindigkeit des Durchmesserwachstums zu berücksichtigen. Je nach Zusammensetzung des Datenmaterials kann dabei die Steigung der Ausgleichsgeraden von Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser unterschiedlich ausfallen. Mit diesem Vorbehalt muss deshalb auch die von SAVILL (1991) präsentierte Reihung von 15 Laub- und Nadelbaumarten nach zunehmender Schattentoleranz betrachtet werden⁵³. Setzt sich das Datenmaterial aus unterschiedlich schnell gewachsenen Bäumen zusammen, kann daraus je nach Datenlage eine unterschiedliche Geradensteigung resultieren, die keinesfalls als ein Hinweis auf eine unterschiedliche Standflächenflächenproduktivität interpretiert werden darf. Im Falle der Reihung von SAVILL (1991) muss auch auf den geringen Stichprobenumfang des Datenmaterials hingewiesen werden (Esche: 61 Bäume, Bergahorn: 51 Bäume). Nach THILL (1975) weist der Bergahorn gegenüber der Esche bei gleichem Brusthöhendurchmesser eine größere Kronenbreite auf. Dies steht in deutlichem Gegensatz zu den hier gefundenen Ergebnissen. Da jedoch THILL (1975) in seinen Berechnungen nicht die Wachstumsgeschwindigkeit berücksichtigt, könnten seine Ergebnisse auch durch Imbalancen im Datenmaterial (z.B. Bergahorne mit großem und Eschen mit niedrigem

⁵³ SAVILL (1991) reiht als einfache Empfehlung zur Steuerung des Dickenwachstums die Laubbäume nach ihrer Kronenbreitenentwicklung über dem Durchmesser in der Abfolge (von großer Krone zu kleiner Krone): *Fraxinus exc.*, *Acer ps.*, *Sorbus aucup.*, *Quercus rob.* + *petr.*, *Betula spp.*, *Fagus sylv.*, *Tilia cord.*, *Castanea sat.*.

Durchmesserzuwachs) zustande gekommen sein. Abbildung 7-8: vergleicht den Zusammenhang zwischen Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser für Esche und Bergahorn der vorliegenden Untersuchung mit der von HAHN (1995) für Buche, LAVNY (2000) für Esche und NUTTO & SPIECKER (2000) für Stiel- und Traubeneiche gefundenen Beziehung. Es wurde dabei ein durchschnittlicher Radialzuwachs von 3 mm/ J als Kalkulationsgrundlage verwendet, da dieser innerhalb des Gültigkeitsbereichs aller vier Untersuchungen lag. Die ukrainischen Eschen von LAVNY (2000) weisen eine durchgängig kleinere Krone auf⁵⁴. Die Eschen aus der vorliegenden Arbeit sowie die Buche (HAHN 1995) und die Eichenarten (NUTTO & SPIECKER 2000) zeigen bei gleichem Brusthöhendurchmesser eine nur geringfügig unterschiedliche Kronenbreite. Etwas kleinere Kronen liegen beim Bergahorn vor. Unabhängig vom durchschnittlichen Radialzuwachs weist der Bergahorn stets eine kleinere Kronenbreite als die Esche auf.

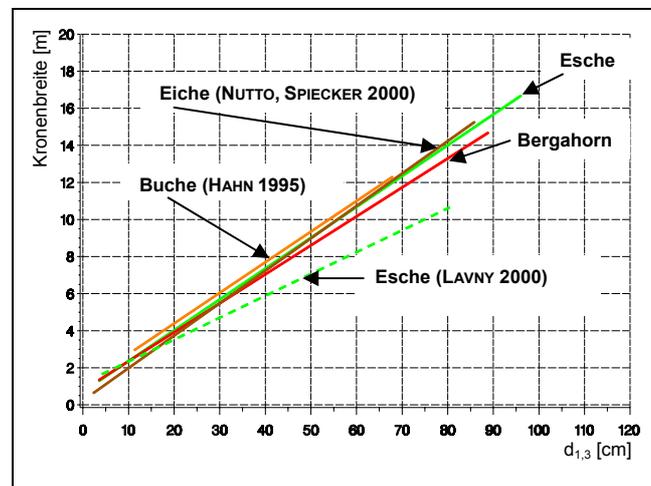


Abbildung 7-8: Vergleich des Zusammenhangs zwischen Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser für Esche und Bergahorn aus der vorliegenden Untersuchung sowie für Esche von LAVNY (2000), von Eiche von NUTTO & SPIECKER (2000) sowie von Buche von HAHN (1995). Jeweils modellhafter durchschnittlicher Radialzuwachs: 3 mm, Bestandesbäume.

Dennoch ist selbst anhand der Funktionsgleichung „Kronenbreite als Funktion von Brusthöhendurchmesser und Baumalter“ keine für alle Radialzuwachsvarianten gültige baumartenspezifische Unterscheidung hinsichtlich des Zusammenhangs von Kronenbreite und Brusthöhendurchmesser zu treffen. Tabelle 7-3: zeigt, dass sich je nach Radialzuwachsvariante die Reihung der Baumarten (hier Eiche und Buche) nach ihrer Kronenbreite ändern kann (Brusthöhendurchmesser von 60 cm). Ein Vergleich auf

⁵⁴ Zur Klärung dieses Unterschieds wurden im Jahr 2001 gemeinsame Messungen mit V. Lavny an 40 identischen Bäumen in Deutschland durchgeführt. Systematische Unterschiede bedingt durch die personenindividuelle Abweichungen bei der Kronenablötung konnten dabei ausgeschlossen werden. Fotografien ukrainischer Eschen ließen jedoch Unterschiede zu der in der vorliegenden Untersuchung vermessenen Eschen hinsichtlich des Verzweigungsmusters an der Kronenperipherie erkennen. Ein Projekt mit detaillierten Vergleichen zur Klärung diese Unterschiede ist zur Zeit in Bearbeitung.

statistische Signifikanz der Unterschiede kann nur durch eine simultane Gegenüberstellung des gesamten Datenmaterials durchgeführt werden.

Tabelle 7-3: Modellierte Kronenbreiten für die Baumarten Esche, Bergahorn (jeweils aus vorliegender Arbeit), Eiche (NUTTO & SPIECKER 2000), Buche (HAHN 1995) und Esche (LAVNY 2000) für den gemeinsamen Gültigkeitsbereich des durchschnittlichen Radialzuwachses von 2 und 3 mm, Brusthöhendurchmesser: 60 cm. Zellen ohne Rahmenabgrenzungen (Eiche und Buche) zeigen an, dass sich je nach Radialzuwachsvariante die Reihung der Baumarten nach ihrer Kronenbreite ändern kann, Bestandesbäume.

	Esche	Bergahorn	Eiche (NUTTO & SPIECKER 2000)	Buche (HAHN 1995)	Esche (LAVNY 2000)
\emptyset ir _{1,3} [mm]	Kronenbreite [m]				
2	9,58	9,37	10,0	9,75	6,74
3	10,68	10,17	10,73	11,00	8,24

Ein methodisch einwandfreier **Vergleich der Standflächenproduktivität** zwischen Baumarten ist nur möglich bei Betrachtung von Kollektiven gleichen Dickenwachstums. Hinweis auf diesbezügliche Unterschiede konnte der Vergleich der beiden unmittelbar benachbarten jeweils gleichalten Eschen- und Bergahornuntersuchungsflächen ES_17 und AH_06 geben (vgl. Kapitel 5.1.1). Die Unterschiede zwischen beiden Kollektiven hinsichtlich des Schaftdurchmessers in 1,3 m Höhe waren nicht signifikant, die Kronendurchmesser der Eschen jedoch bereits im Alter von 33 Jahren signifikant ($\alpha = 0,05$) größer als diejenigen der Bergahorne. Da zusätzlich der mittlere Brusthöhendurchmesser der Bergahorne tendenziell größer war als derjenige der Eschen – wenn auch nicht signifikant ($\alpha = 0,05$), konnte konsequenterweise auch der Unterschied im Ausladungsverhältnis ($b_{kr}/d_{1,3}$) als signifikant bestätigt werden. Eine weitere Absicherung dieser Ergebnisse ist aus ähnlichen Vergleichspaaren in höherem Baumalter zu erwarten, wenn durch kumulative Wirkung etwaige baumartspezifische Wachstumsunterschiede noch deutlicher beobachtet werden können.

Hinsichtlich des Baumartenvergleichs wird zusammenfassend festgestellt, dass aufgrund des signifikanten Einflusses der Covariablen Baumart auf den Zusammenhang zwischen Kronenbreite, Brusthöhendurchmesser und Baumalter bei einer simultanen Analyse des Datenmaterials beider Baumarten, aufgrund der baumartspezifischen Unterschiede in dem genannten Zusammenhang bei Solitären, vor allem aber - da methodisch einzig unanfechtbar - aufgrund der signifikanten Unterschiede in der Kronenexpansion beim Vergleich der oben genannten zwei benachbarten Eschen- und Bergahornreinbestände von einem unterschiedlichen Verlauf der Kronen- und Durchmesserentwicklung des Schaftes von Esche und Bergahorn ausgegangen werden kann. Die Unterschiede in der Kronenbreite liegen mit 0,7 m beispielsweise bei einem durchschnittlichen jährlichen Radialzuwachs von 4 mm und 60 cm Brusthöhendurchmesser in einer praxisrelevanten Größenordnung (vgl. Kapitel 5.1.1). Die Auswirkungen dieser Unterschiede werden bei der

Berechnung von Z-Baumzahlen und weiteren flächenbezogenen Kennwerten sichtbar (vgl. Kapitel 6.3).

Weitere vorläufige Hinweise auf **baumartenspezifische Unterschiede in der Fähigkeit, freiwerdenden Kronenraum** zu besetzen, können durch **den Vergleich der Astlängen-zuwächse** der vorliegenden Untersuchung gewonnen werden. Für beide Baumarten zeigte sich ein konstantes Verhältnis der Relation von jährlichen Höhen- und Astlängenzuwächsen (vgl. Kapitel 4.4.2). Das höhere Niveau des jährlichen Höhenzuwachses der Esche im Vergleich zum Bergahorn kann auch als Hinweis auf das – standortsabhängig – größere Potenzial der Esche gewertet werden, die Kronen in seitlicher Richtung auszudehnen. Diese Folgerung muss jedoch mit dem Vorbehalt einer weiteren Prüfung durch entsprechende experimentelle Untersuchungen in Mischbeständen gesehen werden. Die Untersuchung der Höhen- und Astlängenzuwächse ist dabei als erste methodische Annäherung an diese Fragestellung zu betrachten.

Ein bedeutender **Einfluss des Standorts** auf den zuvor beschriebenen Zusammenhang zwischen Kronenbreite, Brusthöhendurchmesser und Baumalter konnte nicht gefunden werden. Der Beitrag einer Standortvariablen zur Klärung der Reststreuung des Modells war für die Baumart Esche geringer als 0,001%. Für Bergahorn war kein Einfluß nachweisbar. Auch im Rahmen eines Extremwertvergleiches (maximal erreichbarer durchschnittlicher Radialzuwachs) konnte nur für Eschen nachgewiesen werden, dass zumindest für die jeweils dicksten Bäume eines Standorts mit zunehmender Standortbonität eine größere Kronenbreite angenommen werden kann. Für den Bergahorn konnte am vorliegenden Datenmaterial ein Einfluss des Standorts auf die maximal erreichbare Kronenbreite nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden. Wachstumssteuernde Eingriffe können solche eventuell vorhandene standörtliche Einflüsse überlagern. Ein genereller Einfluss des Standorts auf den Zusammenhang von Dickenwachstum und Kronenexpansion kann allerdings nicht völlig ausgeschlossen werden: bei Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Brusthöhendurchmesser und Kronenbreite an Weissfichten konnte beispielsweise ein Einfluss des Standorts beobachtet werden (MITCHELL 1969). Auch HOCHBICHLER & KRAPFENBAUER (1988) stellen einen Einfluss des Standorts fest. Deren Ergebnisse werden jedoch von SPIECKER (1991) in Frage gestellt. Nach Untersuchungen zur Eiche NUTTO (1999) konnte für diese Baumart wie im vorliegenden Fall für Esche eine Abhängigkeit der maximal erreichbaren Kronenbreite von der Standortsgüte nachgewiesen werden.

Die Überprüfung von Begründungsart, Betriebsart, Baumartenzusammensetzung nach Rein- und Mischbestand auf das Kronenbreitenmodell konnte keine weiteren Einflussfaktoren identifizieren. Auch unter diesem Aspekt zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit dem von NUTTO (1999) entwickelten Kronenbreitenmodell für junge Trauben- und Stieleichen. Auch von diesem Autor konnte die Allgemeingültigkeit des Kronenbreitenmodells für Eichen aus Natur- oder Kunstverjüngung unterschiedlicher Pflanzverbände nachgewiesen werden.

Im vorliegenden Modell zeigten lediglich **Eschen- und Bergahornsolitäre** ein von den Bestandesbäumen abweichendes Wachstum. Für dieses Teilkollektiv lag mit dem allgemeinen Kronenbreitenmodell eine systematische Unterschätzung der Kronenbreite vor, die unabhängig von der Geschwindigkeit des Durchmesserwachstums mit steigendem

Brusthöhdurchmessers auf durchschnittlich 2,5 m bei einem Brusthöhdurchmesser von 50 bis 70 cm anstieg. Auch ein nur für die Solitärbäume berechnetes lineares Modell mit Kronenbreite als abhängiger und Brusthöhdurchmesser als unabhängiger Variablen entsprechend dem Vorgehen von FREISE & SPIECKER (1999) erbrachte keine zufriedenstellende Anpassung. Selbst gegenüber schnell gewachsenen Bestandesbäumen sind damit bei Solitären überproportional große Kronen zu erwarten. Damit wird bei Solitären das bereits von ASSMANN (1953) an Buchen nach Lichtungshieben beschriebene Phänomen besonders deutlich, wonach die Entwicklung der Kronenbreite dem Schaftwachstum in 1,3 m Höhe vorausseilt. Deshalb wurde ein zuvor von HASENAUER (1997) entwickeltes Modell angewendet. Im Baumartenvergleich weisen Eschen- und Bergahorn- und Eichen-solitäre im Vergleich zu Buchensolitären größere Kronendurchmesser auf (Abbildung 7-9).

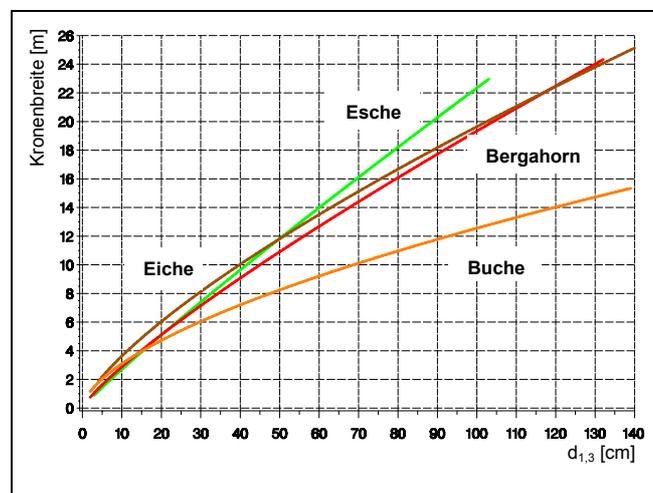


Abbildung 7-9: Vergleich des Zusammenhangs zwischen Kronenbreite und Brusthöhdurchmesser bei Solitären für Esche und Bergahorn aus der vorliegenden Untersuchung mit Eiche und Buche aus einer Untersuchung von HASENAUER (1997).

Neben baumartenspezifischem Wachstumsverhalten können jedoch auch Standortunterschiede in Frage kommen. Damit ist es aus dieser Gegenüberstellung nicht zulässig, daraus prinzipielle baumartenspezifische Unterschiede im Hinblick auf groß- beziehungsweise kleinkronige Baumarten oder auf deren Standraumproduktivität abzuleiten. Ein methodisch einwandfreier Vergleich ist nur durch die Gegenüberstellung der Kronenexpansion von Solitären auf gleichem Standort möglich.

Auch CLUZEAU et al. (1994) konnten bei Bestandesbäumen durch Astanalysen eine Veränderung der **Kronenform** der Esche im Laufe der Baumentwicklung nachweisen. Mit zunehmender Baumhöhe war eine Kronenabwölbung zu beobachten. Die baumindividuellen Unterschiede sind jedoch beträchtlich. Eine mit dem Baumalter zunehmende Plumpheit von Eschenkronen aus der Oberschicht stellte auch ZÜGE (1986) bei Strukturanalysen in Buchen-Edellaubbaum-Mischbeständen fest. Buchenkronen erhielten dagegen unabhängig vom Alter ihren Plumpheitsgrad. Diese zunehmend plumpere Kronenform kann auch dahingehend interpretiert werden, dass insbesondere die Esche eine weniger gute

Tiefenerschließung des Bestandes erreicht. Dies ist im Vergleich zur Buche nach NÜBLEIN (1995) zugleich in Hinweis auf unterschiedlich zügig verlaufende Astreinigung von Esche und Buche. In der vorliegenden Untersuchung konnte die Beobachtung zur Veränderung der Kronenform von Bestandesbäumen durch die Ergebnisse von Eschen- und Bergahornsolitären bestätigt werden. Danach stiegen bis zum Erreichen eines Brusthöhendurchmessers von ca. 30 cm die Plumpheitsgrade steil an und hielten sich danach – unter beträchtlichen baumindividuellen Schwankungen – auf einem Niveau von ca. 0,70 bis 1,35.

KERR & EVANS (1993) weisen darauf hin, dass **Eschen**, deren Kronen lange bedrängt waren, kaum oder nur noch **mit großer zeitlicher Verzögerung auf Freistellungen reagieren**. Der Bergahorn weist nach diesen Autoren in solchen Situationen eine etwas bessere Reaktionsfähigkeit auf. Auch WAGENHOFF (1975) stellt fest, dass ab einem Baumalter von etwa 60 Jahren eingeengte Eschenkronen im Gegensatz zur Buche kaum noch Reaktionsfähigkeit besitzen. Ebenso äußern sich VOLQUARDTS (1958), RÖHRIG (1966) und NAGEL (1985) und befürworten deshalb frühe und starke Pflegeeingriffe zur Steigerung des Dickenwachstums.

Der Zusammenhang zwischen Kronendurchmesser, Brusthöhendurchmesser und Baumalter ermöglichte es, **Produktionsziele** zu berechnen (Kapitel 6.3). Es konnten dabei erstmalig quantitative Aussagen zur Z-Baum-Anzahl zum Zeitpunkt des Erreichens eines Zieldurchmessers, zum Zusammenhang zwischen Produktionszeit und Zieldurchmesser und dem Zusammenhang zwischen der Z-Baum-Anzahl und der Produktionszeit für die Baumarten Esche und Bergahorn getroffen werden. Es sollte dabei besonders auf die zu erwartenden Kronengrößen und die damit verbundene geringe Anzahl von Z-Bäumen pro Hektar in Abhängigkeit vom Zieldurchmesser hingewiesen werden. Durch die Integration der astfreien Schaftlänge in die Formulierung von Produktionszielen kann auch eine zahlenmäßiger Bezug zwischen Qualität und Quantität hergestellt werden.

Aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Elemente des Produktionsziels können für forstbetriebliche Zielsetzungen **Konsistenzprüfungen** erfolgen (THIES & HEIN 2000) und gegebenenfalls Korrekturen vorgenommen werden. Eine Überprüfung kann aber auch Hinweise auf Zielsetzungen wie zum Beispiel der astfreien Schaftlänge geben, zu denen bislang noch keine Festlegung erfolgt ist (Tabelle 7-4:).

Die von PILARD-LANDEAU & LE GOFF (1996) vorgeschlagenen Produktionsziele erscheinen nach den vorgelegten Berechnungen durchaus erreichbar. Dagegen entwickeln bei einem Zieldurchmesser von 50 cm innerhalb einer Produktionszeit von 65 Jahren entsprechend den Vorgaben von KERR & EVANS (1993) Bergahorne eine Kronenbreite von 8,9 m, so dass nur eine Z-Baum Anzahl von 102 /ha angenommen werden kann (regelmäßiger Dreiecksverband, Überschirmungsgrad: 70 %). Die von den Autoren vorgeschlagene Anzahl der Z-Bäume zum Ende der Produktionszeit liegt somit deutlich zu hoch. Der vom MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (1997) angestrebte Zieldurchmesser von beispielsweise 50 cm kann mit 110 Z-Bäumen/ ha in einer Produktionszeit von 85 Jahren erreicht werden (durchschnittlicher Radialzuwachs: 2,9 mm). Je nach Bonität kann zusätzlich eine astfreie Schaftlänge in absoluten Werten berechnet werden.

Tabelle 7-4: Beispiele für verschiedene Produktionsziele für Esche und Bergahorn in Europa, Bestandesbäume.

	Zieldurchmesser [cm]	Produktionszeit [J]	Anzahl Z-Bäume/ ha [-]	Astfreie Schaftlänge [m]
(PILARD-LANDEAU & LE GOFF 1996) Esche	60 - 70	60	60	8 ($h_0 = 30$ m)
(KERR & EVANS 1993) Bergahorn	40 - 60	60 - 70	140 - 170	-
(MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG 1997) Esche und Bergahorn	mind. 50	-	110	25 % der Endhöhe

Die **Anzahl der auszuwählenden Z-Bäume** richtet sich dabei nach der festgelegten Produktionszeit und dem Zieldurchmesser (vgl. Tabelle 6-12: in Kapitel 6.3). Die geringe Anzahl der Z-Bäume sollte jedoch nicht dazu verleiten, mehr Z-Bäume auszuwählen. Beispielsweise hält KLEIN (2000) 100 Bergahorne pro Hektar für zu wenig, da damit die flächenbezogene Wertleistung bei weitem nicht ausgenutzt werde. Nach seinen überschlägigen Berechnungen können die 100 stärksten Ausleseebäume die Zieldimension von 50 cm in einem Alter von 80 bis 95 Jahren erreichen. Die nächst dünneren 100 Bäume sollen diesen Zieldurchmesser nur 20 Jahre später erreichen, wobei seiner Ansicht nach die doppelte Menge wertvolles Holz erzeugt werden kann. Nach den hier vorgelegten Berechnungen geht dies an der wachstumskundlichen Realität deutlich vorbei, da 100 Ausleseebäume mit einem Zieldurchmesser von 50 cm und einem mittleren Radialzuwachs von 3,1 (d.h. in 80 Jahren) nur Platz für weitere 8 Bäume gleicher Dimension übrig lassen (Überschirmungsgrad: 70 %). Darüberhinaus ist zu erwarten, dass es bei zu zahlreich ausgewählten Z-Bäumen in der Praxis immer schwieriger sein wird, qualitativ hochwertige und schon etwas stärkere Bäume zu entnehmen. Ab dem Zeitpunkt, zu dem deren Kronen sich berühren, wird zudem die Astreinigung fortschreiten und kann über abgestorbene dicke Äste zum Eindringen von Verfärbungen oder Fäule in den Schaft führen. Daneben ist zu erwarten, dass die durchschnittliche Qualität weniger ausgewählter Bäume besser ist als die bei der Auswahl zahlreicher Bäume. Fraglich ist auch, ob bei dem nachlassenden Kronenexpansionsvermögen in höherem Alter 20 Jahre zusätzlicher Produktionszeit ausreichen, um den angestrebten Zieldurchmesser zu erreichen.

Diese Überlegungen sind prinzipieller Art und können ihrer Tendenz nach auch auf die Esche übertragen werden.

Ausgehend von Produktionszielen können **flächenbezogene Baumzahlen** abgeleitet werden. Die in Kapitel 6.2 vorgestellte Baumzahlleitkurve sollte den generellen Verlauf ausgehend von verschiedenen durchschnittlichen Radialzuwachsen und damit auch Produktionszeiträumen deutlich machen. Die Darstellungsform einer „Leitkurve“ soll nicht als fixe Vorgabe dienen, sondern Größenordnungen und Gesetzmäßigkeiten aufzeigen. Im

Vergleich der Baumzahlhaltung aus den vier Radialzuwachsvarianten mit Pflegekonzepten anderer Autoren werden Unterschiede deutlich (Abbildung 7-10:).

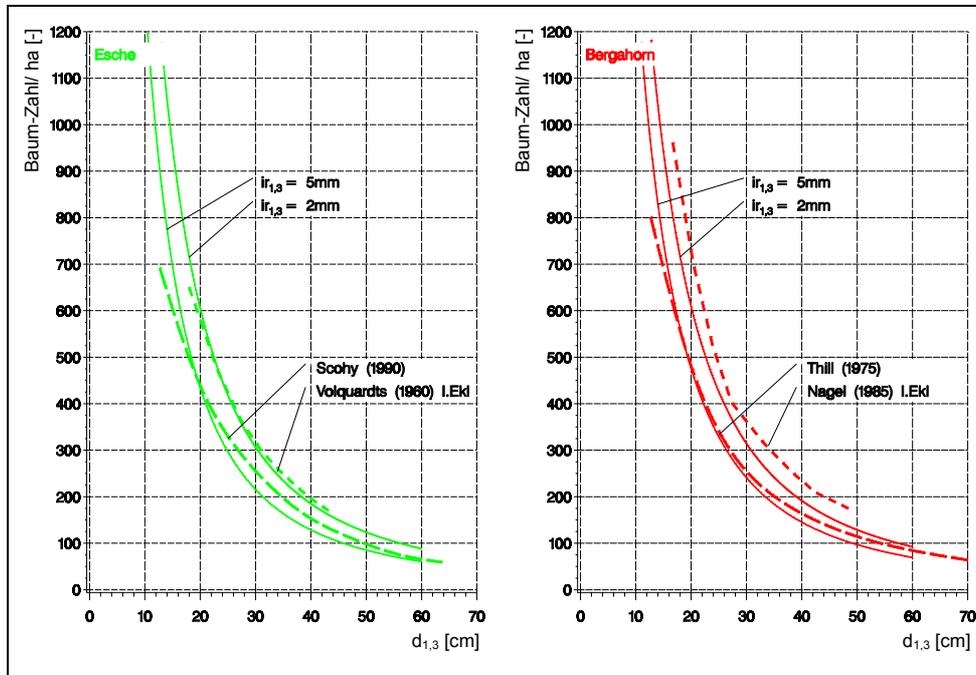


Abbildung 7-10: Vergleich Entscheidungshilfe zur Baumzahlhaltung mit anderen Pflegekonzepten für Esche (links) und Bergahorn (rechts), Bestandesbäume.

In der Gegenüberstellung der Baumzahlhaltungen der vorliegenden Untersuchung mit dem unteren Grenzwert der Baumzahlhaltung nach SCOHY (1990b) und VOLQUARDTS (1960) zeigt sich die weite Spreitung bislang vorgeschlagener Pflegestrategien. Während SCOHY, entsprechend seinem Ziel, über eine Z-Baum orientierte Auslesedurchforstung einen Brusthöhendurchmesser von ca. 60 cm in 70 Jahren zu erreichen, von einer sehr weitständigen Erziehung ausgeht, verläuft bei VOLQUARDTS die Baumzahlhaltung auf deutlich höherem Niveau. Weitere in Tabelle 1-1 (Kapitel 1.2) aufgelistete Ertragstafeln oder Erziehungskonzepte für Esche verlaufen weitgehend innerhalb der Rahmenwerte dieser beiden Autoren. Auch für Bergahorn ließen sich stark voneinander abweichende Baumzahlhaltungen beobachten.

Bei dieser Art von Vergleichen ist jedoch einschränkend zu berücksichtigen, dass sich die jeweiligen Baumzahlhaltungen auf teilweise unterschiedliche Kollektive beziehen können.

Unterschiedliche Baumzahlhaltungen können auch in unterschiedlichen Zielsetzungen begründet sein. Eine Schlussfolgerung, wonach je nach Entwicklungsstadium der Bäume die Eschen oder Bergahorne der vorliegenden Untersuchung generell oder für den gleichen Radialzuwachs mehr Standraum benötigen, ist somit aus dieser Gegenüberstellung nicht zu ziehen.

7.4.2 Jährlicher Radialzuwachs und Jahrringbreite

Das Dickenwachstum wird maßgeblich durch die Konkurrenzsituation gesteuert. In der forstlichen Praxis wird die Konkurrenzsituation durch Standraumerweiterungen im Zuge von Pflegemaßnahmen verändert. Flächige Stammzahlveränderungen oder auf Einzelbäume ausgerichtete Freistellungen führen zu Veränderungen in der Kronendimension und damit auch zu Reaktionen des Dickenzuwachses am Schaft (SPIECKER 1991). Die Analyse des jährlichen Dickenzuwachses für **unterschiedlich dicht begründete Bestände** konnte anhand von Fallbeispielen Hinweise geben, dass sich Unterschiede im jährlichen Dickenzuwachs bereits kurze Zeit nach der Pflanzung deutlich bemerkbar machen. **Freistellungen**, die zu einem bestimmten Zeitpunkt erfolgen, müssen sich jedoch nicht sofort in Zuwachssteigerungen bemerkbar machen. Wechselwirkungen mit Witterungsereignissen können zu Verzögerungen oder sogar zu Zuwachsabsenkungen als Folge eines „Freistellungsschocks“ führen (SPIECKER 1986). Für die hier untersuchten Wachstumssituationen muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich jeweils nur um Wachstumsverläufe einzelner Bäume und damit um Fallbeispiele handelt. Aus dem vorliegenden Datenmaterial kann zusätzlich nicht vollständig die Frage beantwortet werden, wie weit Eschen oder Bergahorne auch in höherem Alter freiwerdenden Kronenraum ausnutzen und in Dickenzuwachs umsetzen können. Der gewählte Ansatz unechter Wuchserien (vgl. Kapitel 2.1.1) stößt hierbei an die Grenze seiner Auswertbarkeit. FAUST (1963) beispielsweise schließt aus der Analyse von Jahrringbreiten von Bergahornen, die auch in Baumalter über 80 Jahren immer wieder freigestellt wurden, aber keinen Zuwachsanstieg zeigen, dass ab diesem Zeitraum Standraumerweiterungen keinen wesentlichen Einfluss auf die Jahrringbreite des Bergahorn zu haben scheinen. Nach NAGEL (1985) ist sogar ab einem Baumalter von ca. 50 Jahren eine Steigerung des Durchmesserzuwachses durch Freistellungen kaum noch möglich. Mit den vorliegenden Auswertungen kann dazu keine abschließende Stellungnahme gegeben werden. Die Untersuchungen zum Astlängenwachstum lassen jedoch darauf schließen, dass mit sinkendem Höhenzuwachs auch die Fähigkeit beider Baumarten, die Kronen in horizontaler Richtung auszudehnen, abnehmen wird. Ein darüberhinausgehender, spezieller methodischer Ansatz zur Beantwortung der Frage nach der Kronenexpansionsfähigkeit von Esche und Bergahorn in höherem Alter war in dieser Arbeit jedoch nicht vorgesehen. In welchem Ausmaß starke Zuwachsreaktionen nach völliger Freistellung die Regel oder eine singuläre Erscheinung darstellen, muss durch eine gesonderte Versuchsanordnung geklärt werden.

Die unterschiedlichen Konkurrenzsituationen, in denen Bäume verschiedener **sozialer Baumklasse** leben, wirken sich ebenso auf den jährlichen Dickenzuwachs aus. Dabei zeigen Bäume geringerer sozialer Klasse geringere jährliche Dickenzuwächse als vorherrschende Bäume. Der Verlauf des Dickenzuwachses über dem Baumalter zeigt dabei ein Muster, das Konkurrenzprozesse im Bestand, zusätzlich aber auch altersbedingte Wachstumstrends widerspiegelt. Der hohe Dickenzuwachs in jungem Baumalter ist dabei typisch für die Konkurrenzsituation der überlebenden Bestandesindividuen. Nur die vorherrschenden Bäume konnten das Überleben sichern, entwickelten eine große Krone und wiesen deshalb in diesem Zeitabschnitt hohe jährliche Dickenzuwächse auf. Ein eindeutiger Rückschluss auf einen Alterstrend ist dabei nicht möglich.

Die Analyse des **jährlichen Radialzuwachses und der Jahrringbreite von Eschen- und Bergahornsolitären** zeigte das hohe Niveau an Dickenwachstum, das Solitäre erreichen können. Eine Klassifizierung der Solitäre nach drei Stufen unterschiedlicher Standortsgüte konnte zudem auch auf einen Einfluss des Standorts auf den Dickenzuwachs hinweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit der Einschätzung der Standortsgüte anhand der Wasserhaushaltsstufen der Standortbeschreibung auch Fehleinschätzungen vorliegen können. Eine Einschätzung eines Standorts als „mittlerer Standort“ zum Zeitpunkt der Datenerhebung kann durchaus differieren von der Standortsgüte am Anfang oder während der gesamten bisherigen Lebensspanne des Solitärs. Speziell bei Standortveränderungen kann dies zu einer Fehlschätzung der Leistungsfähigkeit eines Standorts führen. Von hohen jährlichen Durchmesserzuwachsen von fast 1 cm berichten auch JOBLING & PEARCE (1977) nach Experimenten zum freien Wachstum von Eichen in England. Zum Zeitpunkt der Messung wiesen die von den beiden Autoren vermessenen Eichen ein Alter von 37 Jahren auf. BONSEN (1996) nimmt an, dass Bergahorne in den Niederlanden bei solitärartigem Wachstum schon innerhalb 40 Jahren Brusthöhen-durchmesser von 60 cm erreichen können. Dies entspricht einem jährlichen Durchmesserzuwachs von 1,5 cm. Bei Untersuchungen von FREISE & SPIECKER (1999) an Solitärbuchen konnten durchschnittliche jährliche Durchmesserzuwächse von 6,3 bis 12,4 mm nachgewiesen werden. Einzelne jährliche Durchmesserzuwächse wiesen Maximalwerte bis zu 25,2 mm auf. Dabei konnte ebenfalls eine Abhängigkeit des Durchmesserzuwachses von der Güte des Standorts festgestellt werden. Nach einer Kulmination des jährlichen Durchmesserzuwachses zeigte sich hier zudem ein langsames Absinken mit zunehmendem Baumalter.

Hinsichtlich der aus dem vorliegenden Datenmaterial berechneten standortsabhängigen Mittelwerte von Radialzuwachs und Jahrringbreite ist zu berücksichtigen, dass diese nur das vorliegende Kollektiv an Standorten repräsentieren. Auch ist bei Solitären hinsichtlich der Durchmesserentwicklung mit weiteren Einflüssen durch Pflanzmaterial und Pflanzverfahren, der Bodenvorbereitung und der Witterung in den Folgejahren zu rechnen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Messungen an lufttrockenen Stammscheiben und Bohrkernen entnommen wurden. Die tatsächlichen Zuwächse am lebenden Baum liegen somit etwas höher. Auch unterschätzen Jahrringbreiten das Dickenwachstum systematisch.

Anhand des vorliegenden Datenmaterials von Eschen- und Bergahornsolitären ließ sich optisch und mit den angewandten statistischen Verfahren **beim Durchmesserzuwachs kein Alterstrend** erkennen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für überdurchschnittliche Standorte nur wenige Solitäre höheren Alters vorlagen, was ein nicht harmonisch ausbalanciertes Datenmaterial zur Folge hatte. Weder mit der von SLOBODA oder auch SCHUMACHER vorgestellten Zuwachsfunktionen, noch mit invers-polynomischen Funktionen zweiten und dritten Grades (SIT & POULIN-COSTELLO 1994) als mehr „empirischen“ und deshalb sich flexibleren Zuwachskurven (VANCLAY 1994) konnte eine ausreichende Anpassung erreicht werden. Auch die geringe Anzahl der Bohrkern pro Baum kann als Ursache für die große Streuung der Jahrringbreite über dem Baumalter angesehen werden. Zudem können auch besondere Umwelteinwirkungen zu Veränderungen des Wachstums führen. Ein Alterstrend des jährlichen Radialzuwachses und der

Jahringbreite konnte somit am vorliegenden Datenmaterial mit den angewandten visuellen und statistischen Verfahren nicht bestätigt werden.

Mit der Betrachtung von Solitären lässt sich eine Referenz bezüglich des Dickenwachstums beschreiben. Die für die Modellierung der Kronenexpansion und des Dickenwachstums sowie für die Astreinigung von Bestandesbäumen verwendeten Zuwachsvarianten von bis zu 5 mm jährlichem Radialzuwachs liegen somit noch nicht in den Zuwachsbereichen, die für Solitäre auf überdurchschnittlichen Standorten angenommen werden können.

Bei der abschließenden Betrachtung des jährlichen Dickenzuwachses von Solitären aber auch von Bestandesbäumen muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich entsprechend den Messungen an luftgetrockneten Stammscheiben und Bohrkernen (vgl. Kapitel 2.5.3) um **Unterschätzungen gegenüber den Messungen an frischen Holzproben** handelt. Nach GROSSER & TEETZ (1998) und WAGENFÜHR (1996) ist für die Esche bei einer darrgetrockneten Holzprobe mit einem radialen Schwindmaß von 4,6 bis 5,0 % bezogen auf den frischen Zustand zu rechnen (Bergahorn: 3,0 bis 4,4 %). Bei der Buche ermittelte BÖRNER (1997) an frischen und luftgetrockneten Stammscheiben einen mittleren Längenverlust durch Trocknung von 5 %. Am lebenden Baum werden somit größere jährliche Dickenzuwächse und damit ein etwas schnelleres Erreichen eines angestrebten Schaftdurchmessers zu erwarten sein.

Zusätzlich ist zu beachten, dass es nach SIOSTRZONEK (1958) und WEISE (1987) bei der Vermessung der Jahringbreite zur beachtlichen Abweichungen im Vergleich zu Radialzuwachsmessungen kommt. Fehlschätzungen nehmen dabei mit zunehmender Ovalität des Schaftes und zunehmender Markröhrenverlagerung zu. Die Zuwachswerte unterliegen damit auch einer durch die Datengewinnung verursachten zusätzlichen Variation.

7.5 ZUSAMMENFASSENDE BAUMARTENVERGLEICH

Anhand der vorliegenden Untersuchung können einige Aussagen zu baumartspezifischen Wachstumsunterschieden zwischen Esche und Bergahorn getroffen werden. Soweit nicht besonders hervorgehoben, sind die Ergebnisse nur für das Material der vorliegenden Untersuchung gültig.

Esche und Bergahorn weisen deutliche Unterschiede im **Höhenwachstum** auf. Der Höhenzuwachs beider Baumarten kulminiert mit unter 15 Jahren sehr früh. Dabei weist die Esche auf ihren besten Standorten zum Zeitpunkt der Kulmination etwas geringere Höhenzuwächse auf als der Bergahorn. Auch nach NAGEL (1985) ist das Jugendwachstum des Bergahorn etwas stärker als das der Esche. Die von der Esche in einem bestimmten Alter erreichbaren Endhöhen sind jedoch größer als die entsprechenden Endhöhen des Bergahorns. Beispielsweise erreicht die Esche auf den besten in diese Untersuchung integrierten Standorten (Höhenbonität 33 m in 60 Jahren) im Alter von 100 Jahren 42,5 m, während der Bergahorn zu diesem Zeitpunkt lediglich Höhen von 34 m erreicht. Zu vergleichbaren Aussagen kommen auch zahlreiche andere Autoren und weisen auf sich daraus ergebenden Pflegeprobleme hin (z.B. KJÖLBY et al. 1958, FAUST 1963, RÖHRIG 1966, LE GOFF 1982).

Zu diesem späten Zeitpunkt im Höhenwachstum weisen Eschen bei mittleren Standortverhältnissen doppelt so lange jährliche Höhenzuwächse auf wie Bergahorn. Im Vergleich zum Höhenwachstum der Buche zeigen Esche und Bergahorn untereinander wesentlich mehr Gemeinsamkeiten.

Das **Höhenwachstum** von Esche und Bergahorn weist auch **im Vergleich mit der Buche** deutliche Unterschiede auf: kennzeichnend für die Buche ist eine späte Kulmination sowie ein länger anhaltendes, hohes Niveau des Höhenzuwachses. Um allerdings für die zielgerichtete Wachstumssteuerung von Baumarten in Mischbeständen Handlungsalternativen entwickeln zu können, reicht es nicht aus, den Zeitpunkt zu bestimmen, an dem auf bestimmten Standorten die Buche die Esche oder den Bergahorn an Höhe übertrifft. Beispielsweise liegt dieser Zeitpunkt nach BERTOG (1900) im Muschelkalkgebiet Nordthüringens bei ca. 30 Jahren, nach HOFMANN (1922) und ZIMMERLE (1942) in der Schwäbischen Alb bei 30 bis 40 Jahren, ebenso nach WAGENHOFF (1975) und ZÜGE (1986) aufgrund von Untersuchungen in Niedersachsen zwischen 30 bis 35 Jahren. Für RÖHRIG (1966) liegt dieser Zeitpunkt im gleichen Untersuchungsgebiet mit 50 bis 60 Jahren etwas später. Unterstellt man dem Höhenwachstum auch eine Hinweiseigenschaft auf die Fähigkeit der Baumkrone sich lateral auszudehnen, so lässt sich folgern, dass spätestens ab diesem Zeitpunkt Kronenraum, der im Zuge von steuernden Pflegeeingriffen frei wurde, von der Buche schneller besetzt werden kann als von Esche und Bergahorn. Kronenfreiraum zwischen Buche und Esche oder Bergahorn steht dann eben nicht mehr zu gleichen Teilen beiden Baumnachbarn zur Verfügung. Pflegeeingriffe mit dem Ziel, die **Entwicklung der Kronenbreite** einer Baumart besonders zu fördern, müssten somit schon frühzeitiger erfolgen. Die nachlassende Konkurrenzstärke von Esche und Bergahorn in Buchen-Mischbeständen bestätigen auch die Strukturanalysen von BERTOG (1900), HOFMANN (1922), ERTELD (1959), FAUST (1963), RÖHRIG (1966), BECK & GÖTTSCHE (1973), ZÜGE (1986) sowie NÜBLEIN (1995) selbst für bewirtschaftete Bestände mit Begünstigung von Esche und Bergahorn. Auch PILARD-LANDEAU & LE GOFF (1996) und AMMANN (1997) weisen auf die mit dem Alter stark nachlassende Kronenexpansionsfähigkeit speziell der Esche hin. Auch nach diesen Darstellungen ist eine 50jährige kleinkronige Esche, nicht mehr in der Lage auf Durchforstungen zu reagieren. Wachstumsunterschiede zwischen Bergahorn und Buche wurden auch von SPELLMANN (1981) und NAGEL (1985) erkannt und hervorgehoben. Nach SPELLMANN (1981) nützt die Freistellung von Esche und Bergahorn in Buchenmischbeständen eher der Buche, da diese die Krone besser ausdehnen kann. Aufgrund des unterschiedlichen Konkurrenzverhaltens auch im Vergleich von Esche und Bergahorn lehnt VAN MIEGROET (1956) auch eine einzelstammweise Mischung von diesen beiden Baumarten ab. THILL (1975) dagegen hält ein Erziehungskonzept von Esche und Bergahorn in gruppenweise strukturierten Plenterwäldern unter der Voraussetzung einer konsequenten Freistellung der Einzelbäume für möglich. Weitere, detailliertere Untersuchungen speziell zur Kronenexpansionsfähigkeit von Esche, Bergahorn und Buche in Mischbeständen könnten dazu beitragen, Handlungsempfehlungen für ein baumartenspezifisches Erziehungskonzept in Mischbeständen abzuleiten.

Die **Dynamik der Astreinigung** wurde als Entwicklung des Kronenansatzes und der astfreien Schaftlänge dargestellt. Entsprechend den Unterschieden in der Höhen-

wachstumsgleichung weist die Esche bei gleichem durchschnittlichem Radialzuwachs auch die größere astfreie Schaftlänge und den höheren Kronenansatz auf. Unabhängig von Radialzuwachs oder Höhenwachstum weisen nach NÜBLEIN (1995) Eschen kürzere relative Kronenlängen als Bergahorne auf, was von dem Autor als Hinweis auf die geringere Tiefenerschließung der Esche gewertet wird. Auch in den hier präsentierten Ergebnissen zeigte sich für Esche bei annähernd gleichem Höhenwachstum und Radialzuwachs eine größere Kronenansatzhöhe im Vergleich zum Bergahorn in höherem Baumalter. Trotz der beschriebenen Tendenz des Modells zur astfreien Schaftlänge zur Unterschätzung ab einer Höhe von ca. 15 m kann auch hier von einer etwas höheren astfreien Schaftlänge bei Esche für annähernd gleiche Baumhöhe und Radialzuwachs ausgegangen werden. Bei der Kronenansatzhöhe in verschiedenen Sektoren am Schaft zeigte sich bei beiden Baumarten übereinstimmend eine große Variation. Unterschiede in der Kronenansatzhöhe zwischen diesen Sektoren konnten nicht mit Unterschieden im durchschnittlichen Radialzuwachs in Zusammenhang gebracht werden. Bei beiden Baumarten zeigten sich übereinstimmend auch beträchtliche Variationen der Kronenansatzhöhe in Abhängigkeit von der Kronenradiusdifferenz.

Der **Kronenansatz** von Eschensolitären liegt tendenziell etwas höher als derjenige von solitär erwachsenen Bergahornen. Diese Feststellung gilt auch für die astfreie Schaftlänge. Ein Baumartenvergleich muss hier jedoch immer im Zusammenhang mit der Möglichkeit gesehen werden, dass durch störende Eingriffe an solitär erwachsenen Bäumen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten ein eventuell baumartenspezifisches Verhalten durch diese Störungen überlagert werden kann.

Anhand des Zusammenhangs zwischen **astfreier Schaftlänge**, Baumhöhe, Brusthöhen-durchmesser und Baumalter kann unter Berücksichtigung der Schaftform eine Berechnung der Breite des asthaltigen Kerns erfolgen. Ein Baumartenvergleich hinsichtlich der Breite des asthaltigen Kerns kann aufgrund der in das Modell eingehenden Variablen nur vor dem Hintergrund unterschiedlichen Höhenwachstums und unterschiedlicher Schaftform erfolgen. Eine direkte Aussage, wonach bei gleicher Höhe, gleichem Baumalter und gleichem Brusthöhendurchmesser der asthaltige Kern beider Baumarten sich unterscheidet ist, nicht möglich, da sich für Esche andere Kombinationen von Baumalter und Baumhöhe und - davon abgeleitet - eine andere Schaftform ergibt.

Für beide Baumarten konnte ein straffer Zusammenhang **zwischen Astdurchmesser und Astlänge** ermittelt werden. Nach der vorliegenden Arbeit ist hinsichtlich dieses Zusammenhangs kein Unterschied zwischen Eschen- und Bergahornästen nachzuweisen. Ein Baumartenvergleich von Solitärästen beider Baumarten konnte aufgrund des geringen Datenumfangs nicht durchgeführt werden.

Für Esche und Bergahorn konnte eine signifikante Abhängigkeit **des Astlängenwachses vom Baumalter** festgestellt werden. Dies gilt für Astlängenwachse des Astalters 2 bis 4 Jahre. Baumartenspezifische Unterschiede ließen sich aufgrund der großen Variation der jährlichen Astlängenwachse jedoch nicht feststellen, auch wenn Unterschiede im Höhenwachstum dies vermuten lassen.

Aus den Messungen zur Überwallung nach natürlicher Astreinigung konnte ein Modell zur Vorhersage des **asthaltigen Kerns** anhand von Dimensionsparametern des überwallten Astes und anhand von Wachstumsgrößen des Baumes berechnet werden. Im Baumarten-

vergleich konnte für Bergahorn ein signifikant stärkerer Anstieg des asthaltigen Kerns mit steigendem Astdurchmesser und steigendem Radialzuwachs in der Lebenszeit festgestellt werden. Dies kann darauf hindeuten, dass bei Bergahorn ein Ast eines bestimmten Durchmessers oder bei einem bestimmten Radialzuwachs tendenziell länger am Schaft lebt und abstirbt als bei Esche, ehe er vollständig überwallt ist.

Hinsichtlich der **Überwallungsdauer** nach natürlicher Astreinigung ergaben sich im Baumartenvergleich keine signifikanten Unterschiede.

Ein Baumartenvergleich des asthaltigen Kerns und der Überwallungsdauer nach **Ästung** konnte aufgrund des geringen Datenumfanges nicht durchgeführt werden.

Nach dem vorliegenden Datenmaterial zur **Sekundärastbildung** fanden sich mehr Bergahorne mit lebenden Sekundärästen als Eschen. Zusammenhänge zwischen sozialer Klasse, durchschnittlichem Radialzuwachs und relativer Kronenlänge und der Sekundärastdichte pro zwei Laufmeter astfreier Schaftlänge konnten nicht für beide Baumarten mit gleicher Sicherheit nachgewiesen werden. Es besteht jedoch für Esche eine Tendenz zu einer größeren Dichte lebender Sekundäräste pro 2 lfm bis zum Kronenansatz im Vergleich zum Bergahorn.

Die Ergebnisse zur Astreinigung von Esche und Bergahorn konnten in **Entscheidungshilfen** umgesetzt werden. Da die baumartenspezifischen Unterschiede schon bei den Modellen beträchtlich waren, fanden diese Unterschiede ihren Niederschlag auch in den Entscheidungshilfen.

Auch hinsichtlich **Kronenexpansion und Dickenwachstum** zeigen beide Baumarten Unterschiede: Eschen weisen bei gleichem Brusthöhendurchmesser signifikant breitere Kronen auf als Bergahorne. Bergahorne benötigen damit geringere Kronenbreiten, um einen bestimmten Schaftdurchmesser zu erreichen. Dies ließ sich als – jedoch nicht signifikante - Tendenz auch für solitär erwachsene Eschen und Bergahorne beobachten. Im Vergleich mit Eiche und Buche, zu denen bereits wachstumskundliche Untersuchungen ähnlicher Methodik durchgeführt worden sind, zeigten sich nur sehr geringe Unterschiede im Zusammenhang zwischen Kronenexpansion und Dickenwachstum. Für Esche ließ sich im Zuge eines Extremwertevergleichs ein **Einfluss des Standorts** auf das Dickenwachstum von Bestandesbäumen nachweisen. Mit der gleichen Methodik zeigte sich jedoch bei Bergahorn, dass eventuell vorhandene Einflüsse durch Wachstumsreaktionen auf Standortraumerweiterungen überlagert werden können.

Bei **Eschen- und Bergahornsolitären** konnten Hinweise auf eine **Standortsabhängigkeit** des Dickenwachstums gefunden werden. Da jedoch weniger Bergahornsolitäre von sehr guten Standorten in der Datengrundlage vorhanden waren, kann nicht zweifelsfrei geklärt werden, ob die bei Bergahornsolitären beobachteten niedrigeren jährlichen Dickenzuwächse standortsbedingt sind oder mit baumartenspezifischen Ursachen erklärt werden können.

Auch die Ergebnisse zu Dickenwachstum und Kronenexpansion von Esche und Bergahorn konnten in praxisnahe **Entscheidungshilfen** umgesetzt werden. Da die baumartenspezifischen Unterschiede jedoch schon bei der Modellbildung eher geringeren Ausmaßes waren, zeigten auch die Entscheidungshilfen nur geringe baumartenspezifische Unterschiede.

Die hier vorgelegte Arbeit enthält einen Ansatz zur Beurteilung der **flächenbezogenen Leistungsfähigkeit** von Esche und Bergahorn. Für beide Baumarten nimmt mit zunehmender Höhenbonität das hektarbezogene Volumen an äußerlich astfreiem Schaftholz zu. Mit steigendem Radialzuwachs sinkt das hektarbezogene Volumen an äußerlich astfreiem Schaftholz. Bedingt durch Unterschiede in der Schaftform und dem Höhenwachstum liegt dabei das Leistungsniveau der Esche über dem des Bergahorns. Das Volumen an astfreiem Schaftholz mit einem asthaltigen Kern über einem Drittel des Schaftdurchmessers nimmt dabei bei Esche pro Radialzuwachsvariante aufgrund der spezifischen Schaftform und Astreinigungsdynamik einen größeren Anteil ein als das entsprechende Volumen des Bergahorns. Im **Vergleich des gesamten flächenbezogenen Volumenertrags zur Buche** stellte NAGEL (1985) für den Bergahorn ein vergleichbar hohes Ertragsniveau wie bei der Buche fest, mit der Tendenz, in höherem Alter diese sogar zu übertreffen. Das Ertragsniveau der Esche liegt dabei unter dem der Buche. Zu vergleichbaren Schlußfolgerungen kommt auch SPELLMANN (1981). Auch ERTELD (1959) schätzt eine Minderleistung von 20 – 30 % von Buchenbeständen mit Eschenanteilen bei 100 – 110 jähriger Produktionszeit gegenüber reinen Buchenbeständen, wobei sich diese Unterschiede mit zunehmender Güte des Standorts verringern.

8 AUSBLICK

Mit der vorliegenden Untersuchung konnten grundlegende Wachstumsgesetzmäßigkeiten für Esche und Bergahorn quantitativ dargestellt werden. Dabei standen die Formulierung von einfachen Wachstumsmodellen und ihre Umsetzung in wachstumskundliche Entscheidungshilfen im Vordergrund. Als inhaltlicher Schwerpunkt wurde die Dynamik der Astreinigung und des Dickenwachstums gewählt. Im Zuge der Außenaufnahmen und Auswertungen traten weitere Fragestellungen in Nachbarschaft zu „Astreinigung und Dickenwachstum“ auf, die als Präzisierung oder in Fortführung der hier präsentierten Ergebnisse Leitlinien für weitere Untersuchungsansätze vorgeben könnten.

- Die hier vorgestellten Wachstumsgesetzmäßigkeiten wiesen keine Unterschiede für Eschen und Bergahorne aus Rein- oder Mischbeständen auf. Im retrospektiven Untersuchungsansatz jedoch könnten dazu für Bäume, die die bisherige Lebenszeit in intensiver, einzelbaumweiser Mischung verbracht werden, Hinweise für eine spezielle, **mischbestandsspezifische Wachstumssteuerung** geben. Dabei scheinen in Mischungen von Esche und Bergahorn in Buchenbeständen die unterschiedlichen Abläufe beim Höhen- und Dickenwachstum des Schaftes, der horizontalen und vertikalen Kronenexpansion sowie der Astreinigung von besonderer Aussagekraft.
- Steuernde Eingriffe in die Wachstumsabläufe rufen **Wachstumsreaktionen** hervor, die zusammen mit Witterungsereignissen oder der baumindividuellen Vitalität, auch unbeabsichtigte Wirkungen zeitigen können. Von besonderem Interesse ist dabei das Reaktionspotenzial von Eschen und Bergahornen in höherem Alter. Auch die Untersuchung von Risiken wie das Auftreten von Sekundärästen oder der Fäuleeintritt nach dem Absterben dicker Äste beziehungsweise nach Ästung oder auch das Risiko der Braunkernbildung bei Esche könnten einen Beitrag zur Optimierung der Wachstumssteuerung liefern.
- Da Holzproduktion immer mit einem **Flächenbezug** verbunden ist, hat auch der Produktivitätsvergleich zwischen den Baumarten und für verschiedene Standorte eine hohe Bedeutung. Die Analyse langfristiger Versuchsflächen könnte dabei eine sinnvolle Ergänzung von Wuchsreihenbetrachtungen darstellen.
- Die Umsetzung von flächenbezogenen Wachstumsgesetzmäßigkeiten **in praxisverwertbare Entscheidungshilfen** bedarf besonderer Aufmerksamkeit. Soll ein Transfer dieser Ergebnisse in die Forstbetriebe hinein stattfinden, muss vermehrt ein Augenmerk auf eine Konzeption entsprechender Entscheidungshilfen gelegt werden, die die Bedürfnisse von Entscheidern in Forstbetrieben berücksichtigt.

Einige dieser Fragestellungen könnten auch neue methodische Herangehensweisen erforderlich machen. Experimentelle Ansätze scheiden dabei trotz der Langfristigkeit der Wachstumsabläufe nicht generell aus. Beispielsweise könnten Ästungsversuche schon nach vergleichsweise kurzen Zeiträumen Hinweise auf Wachstumsreaktionen geben. Ergänzend könnten Teilaspekte des Flächenbezugs der Wertholzproduktion in einem ersten Schritt anhand von Simulationsabläufen untersucht werden. Spezielle Fragestellungen benötigen jedoch eigene, auf das jeweilige Untersuchungsziel ausgerichtete Datenerhebungen und Untersuchungsansätze.

9 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden waldwachstumskundlichen Untersuchung wurden Wachstumsgesetzmäßigkeiten von Esche und Bergahorn untersucht. Daraus wurden quantitative Entscheidungshilfen für eine zielgerichtete und an variablen Ausgangslagen ausgerichtete Wachstumssteuerung abgeleitet. Unterschiede zwischen den beiden Baumarten wurden vergleichend dargestellt. Aus bisherigen Untersuchungen zum Wachstum von Esche und Bergahorn konnte die **Zielsetzung der vorliegenden Arbeit** abgeleitet werden: (1) baumartspezifische Darstellung des Wachstums von Esche und Bergahorn sowie Herausstellen der baumartentypischen Unterschiede, (2) Darstellung von für die Wertholzproduktion wichtigen Wachstumsgesetzmäßigkeiten und Präsentation in waldwachstumskundlichen Modellen sowie (3) Entwicklung einfach anwendbarer Entscheidungshilfen.

Die **Methodik** der Arbeit folgte einem retrospektiven Ansatz, bei dem entsprechend dem Wuchsreihenprinzip auf temporären Untersuchungsflächen unterschiedlichen Entwicklungsstadiums Gruppen von 25 Bäumen in ihren Nachbarschaftsverhältnissen vermessen wurden. Zentrale Untersuchungsgrößen am stehenden Baum waren dabei Schaftdurchmesser, die Kronen- und Totastansatzhöhe sowie die Kronenschirmfläche vorherrschender bis einschließlich mitherrschender Bäume, sowie Stammscheibentnahmen und Messungen an überwallten Ästen und Triebblängenmessungen. Zentrale Zielgrößen für die Auswertung waren dabei Entwicklung der Kronenbreite, des Kronenansatzes und der astfreien Schaftlänge sowie der Baumhöhe (Kapitel 2).

Das **Untersuchungsmaterial** wurde in insgesamt 13 europäischen Ländern gewonnen. Insgesamt wurden 1501 Eschen und 1021 Bergahorne aus unterschiedlicher Begründungsform, Mischung, Pflegestrategie, sowie einer weiten Spanne an Baumdimensionen und unterschiedlicher Wachstumsgeschwindigkeit vermessen. Zur Abschätzung des Wachstums in extremen Wachstumssituationen wurden auch Solitäre von Esche (42 Bäume) und Bergahorn (32 Bäume) in die Untersuchung mit einbezogen (Kapitel 3).

Als Grundlage der Untersuchung zur **Dynamik der Astreinigung** erfolgte eine **Modellierung des Höhenwachstums** für Esche und Bergahorn mit einem nichtlinearen Wachstumsmodell. Die frühe Kulmination des Höhenzuwachses konnte auch am vorliegenden Material bestätigt werden. Die Esche erreichte dabei durchschnittlich größere Höhen als der Bergahorn (Kapitel 4.1).

Die **Entwicklung der Höhe des Kronenansatzes und der astfreien Schaftlänge** zeigte einen straffen Zusammenhang zur Baumhöhe, zum Durchmesser in 1,3 m Höhe am Schaft sowie dem Baumalter und damit zur Standortsqualität. Zwiesel haben einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Kronenansatzes und der astfreien Schaftlänge. Solitäre weisen eine von Bestandesbäumen deutlich abweichende Dynamik der Astreinigung auf. Über Annahmen zur Schaftform können auch Aussagen zur inneren Ästigkeit des Schaftes getroffen werden. Mit zunehmendem Radialzuwachs nimmt der asthaltige Kern im Schaftinneren zu. Auf besseren Standorten ist bei gleichem Radialzuwachs eine höhere astfreie Schaftlänge und damit auch ein kleinerer asthaltiger Kern zu erwarten (Kapitel 4.2 und Kapitel 4.3).

Mit den Messungen an **überwallten Ästen** konnten die Modellergebnisse zur Dynamik der Astreinigung überprüft und erweitert werden. Die Überwallungsdauer abgestorbener

Primäräste unterliegt dabei großen astindividuellen Schwankungen, sie kann jedoch in einem multiplen Regressionsmodell abgebildet werden. Zwischen Astlänge und dem Durchmesser an der Astbasis besteht ein straffer Zusammenhang für Äste von Bestandesbäumen. Äste von Solitären weisen ein abweichendes Wachstum auf (Kapitel 4.4).

Die Ergebnisse der **explorativen Untersuchung zur Grünästung** an Esche und Bergahorn weisen darauf hin, dass mit dieser Maßnahme der Radius des asthaltigen Kerns im Schaft sowie die Überwallungsdauer reduziert werden kann (Kapitel 4.5).

An Esche und Bergahorn treten **lebende Sekundäräste** auf. Bäume sinkender sozialer Klasse, abnehmendem Radialzuwachs sowie sinkender relativer Kronenlänge weisen häufiger und auch mehr lebende Sekundäräste pro Laufmeter Schaft bis zum Kronenansatz auf. Im Baumartenvergleich weisen Eschen tendenziell mehr lebende Sekundäräste der Längensklasse < 1 m als Bergahorne auf (Kapitel 4.6).

Zwischen der Kronenbreite als abhängig modellierter Größe und dem Bruthöhendurchmesser sowie dem Baumalter besteht ein straffer funktionaler Zusammenhang. Es konnte **kein praxisrelevanter Einfluss des Standorts** auf das Modell nachgewiesen werden. Es ergaben sich nur für die Esche Hinweise darauf, dass Bestandesbäume auf besseren Standorten zu einem gegebenen Zeitpunkt größere maximale Kronenbreiten als auf schlechteren Standorten erreichen können. Freistellungen und unterschiedliche soziale Stellungen schlagen sich im Radialzuwachsverlauf eines Baumes nieder. Solitäre weisen eine von Bestandesbäumen abweichende **Dynamik des Dickenwachstums** und der Kronenexpansion auf. Auch ein Einfluss des Standorts auf das Dickenwachstum von Solitären war nachweisbar (Kapitel 5.1 und 5.2).

Aus den wachstumskundlichen Gesetzmäßigkeiten konnten **Produktionsziele** und Entscheidungshilfen abgeleitet werden. Erstmals konnten für gegebene Zielvorstellungen hinsichtlich Schaftdurchmesser, Produktionszeit und Anzahl der Z-Bäume pro Hektar auch quantitative Aussagen zur Astreinigung getroffen werden. So lässt sich mit Esche bei einem Zieldurchmesser von 60 cm in 1,3 m Schafthöhe in 75 Jahren eine astfreie Schaftlänge von 16,0 m mit 64 Z-Bäumen pro Hektar erreichen (Höhenbonität 33 m). Mit Bergahorn sind bei gleichem Zieldurchmesser und Produktionszeit eine astfreie Schaftlänge von 11,8 m mit 72 Z-Bäumen pro Hektar zu erwarten (Höhenbonität 30 m) (Kapitel 7.1).

In Abhängigkeit von frei wählbaren Produktionszielen wurden **Entscheidungshilfen** vorgestellt (Kapitel 7.2). Diese beinhalten ein Z-Baum orientiertes Durchforstungsmodell mit der Anzahl der zu entnehmenden Bedränger pro Z-Baum, eine Baumzahlleitkurve, Baumabstände und Dimensionsquotienten (Kapitel 7.3), sowie einen Entwurf für ein Pflegekonzept zur Steuerung von Astreinigung und Dickenwachstum in zwei Phasen.

10 SUMMARY

This growth and yield project analyses pruning dynamics and diameter growth patterns of common ash (*Fraxinus excelsior* L.) and sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). An outcome of this analysis are quantitative decision tools which can control growth to achieve certain objectives. These tools are also flexible enough to adapt to various starting positions. Differences between the two tree species are discussed comparatively. The **main objectives of the project** can be derived from a literature review on growth analysis of common ash and sycamore maple in Europe: (1) a tree species specific analysis of growth patterns of the two species and a special emphasis on tree species specific differences, (2) a focus on growth patterns that are of high importance for the production of valuable timber and the presentation of these patterns in growth and yield models and (3) the development of decision tools that can be implemented with ease.

The **methodology** of the project follows a retrospective approach, using the principle of space-for-time substitution with temporary plots of different developmental phases with each of 25 neighboring trees. The main parameters measured on the standing trees are the diameter at breast height, the height of the crown base and the height of the first dead branch and the crown projection area of dominant, codominant and subdominant trees. Stem discs were taken at several heights on felled trees and measurements on occluded branches were conducted as well as shoot length measurements. The main parameters for data analysis were the development of crown width, that of the crown base and that of the length of the branch free bole and height growth (chapter 2).

The **data set** is based on measurements in 13 European countries. Altogether, 1501 common ash and 1021 sycamore maple trees from different forms of stand establishment, mixtures, silvicultural strategies and with a broad range of tree dimensions and diameter increment were included in the study. To estimate the growth in extreme situations open grown trees of common ash (42 trees) and sycamore maple (32 trees) were also integrated into the database (chapter 3).

First, a non-linear **height growth model** for common ash and sycamore maple was set up as a basis for the analysis of **pruning dynamics**. The early starting and culmination of height increment was confirmed by this analysis. On the average, common ash reaches higher heights than sycamore maple (chapter 4.1).

The **development of the crown base and the length of the branch free bole** showed a significant correlation with the tree height, with the diameter at breast height, with tree age and therefore with site quality. Forks do have a significant influence on the height of the crown base and the length of the branch free bole. Open grown trees exhibit pruning dynamics differing from those of trees from stands. Assumptions on tree form allow for quantitative statements on the internal branchiness of the trunk. With a rising radial increment, the knotty core within the trunk increases. The better the site quality at a given radial increment is, the longer the length of the branch free bole will be, presumably resulting in a smaller knotty core (chapter 4.2 and chapter 4.3).

The measurements on occluded branches could be used to check and expand the previous results on dynamics of natural pruning. The time for occlusion of dead branches is subject to considerable branch-individual differences, but is still predictable with a multiple

regression model. There is also a strong correlation between the diameter at the base of branches and their length. Branches on open grown trees exhibit a differing growth pattern than those on trees from stands (chapter 4.4).

An additional **explorative analysis of artificial pruning** on common ash and sycamore maple indicates that the width of the knotty core can be reduced through artificial pruning as well as the time of occlusion (chapter 4.5).

On common ash and sycamore maple **epicormics** can appear. Living epicormics are more likely to be found on trees with a lower social status, a lower radial increment and a smaller relative crown length. More epicormics per 2 m length of the trunk up to the crown base can also be found. A comparison between the two species confirmed that there is tendency toward more living epicormics of the epicormic length class < 1 m on common ash than on the sycamore maple (chapter 4.6).

There is a strong functional relation between crown width as the dependent variable and the diameter at breast height and tree age. **No influence of site quality on the model relevant for forest management practice** could be found. For common ash only is there evidence that trees from stands at a given age exhibit a larger maximal grown width on good sites than those on poorer sites. Crown release and different social status of trees are reflected in the dynamics of the yearly radial increment of a tree. Open grown trees show a different **dynamic of diameter growth** and crown expansion than trees from stands. It was found that there is a clear influence of site quality on the diameter growth of open grown trees (chapter 5.1 and 5.2).

These growth patterns can be used to calculate **production objectives** and decision tools. A quantitative statement concerning the diameter at breast height, the production time and the number of crop trees and the external and internal branchiness for a desired production objective of a forest decision taker could be made for the first time. As an example, an common ash tree that has reached its target diameter at breast height of 60 cm within 75 years will reach a branch free bole length of 16.0 m with 54 crop trees per hectare (dominant height of 33 m at a base age of 60 years). For a Sycamore Maple with the same target diameter and production time, a branch free bole length of 11.8 m with 72 crop trees per hectare is expected (dominant height of 30 m at a base age of 60 years) (chapter 7.1).

A set of **decision tools** are presented which may be used to achieve a wide range of production objectives (chapter 7.2). They include a crop tree thinning model, which calculates the number of competitors per crop tree to be removed, a guide curve which determines the number of trees per hectare, a table depicting the distance between trees, a crown dimension ratio (chapter 7.3) and a two phase concept for controlling diameter growth and pruning dynamics.

11 RÉSUMÉ

La présente recherche sur la croissance forestière a été consacrée aux modalités de croissance du frêne et de l'érable sycomore. Cette étude a permis de dégager pour une approche quantitative des aides à la décision pour un contrôle de la croissance bien ciblé et s'orientant en fonction de conditions initiales variables. Il a été procédé à une comparaison pour les deux essences. Les travaux de croissance forestière disponibles à ce jour pour ces deux espèces ont permis de définir **les objectifs de cette recherche**: (1) approche spécifique des modalités de croissance du frêne et de l'érable avec mise en évidence des différences, (2) mise en évidence des conditions de croissance qui sont déterminantes pour la production de bois de qualité et élaboration de modèles dendrométriques de croissance et (3) mise au point d'aides à la décision dont l'application est aisée.

La méthode appliquée a fait appel à une approche rétrospective basée sur le principe de séries de croissance de parcelles temporaires dotées de groupes d'arbres à stades de croissance variables de 25 individus chacun et dont on a appréhendé les conditions de voisinage. Les principaux paramètres dendrométriques mesurés pour chaque arbre étaient les suivants: diamètre à 1,30 m; la hauteur de la base du houppier et la hauteur de la première branche morte et la surface de projection horizontale du houppier des sujets dominants à co-dominants. De même on a aussi procédé à des prélèvements de rondelles ainsi qu'à des mesures au niveau des bourrelets et des croissances des pousses annuelles. L'analyse de ces données a principalement ciblé la croissance du diamètre des houppiers, la hauteur de la base des houppiers, la longueur du fût sans branches et la hauteur de l'arbre (chapitre 2).

L'échantillonnage pour cette étude provient de 13 pays différents. Au total on a sélectionné 1501 frênes et 1021 érables de taille et de croissance variables et issus de peuplements qui diffèrent de par leurs modalités d'établissement, les conditions de mélange et leur type de gestion. Pour appréhender la croissance en conditions extrêmes, on a également fait appel à des arbres solitaires (au nombre de 42 pour les frênes et de 32 pour les érables). (chapitre 3).

Pour l'analyse de la dynamique de l'élagage naturel on a d'abord élaboré **une modélisation de la croissance en hauteur** pour le frêne et l'érable en appliquant un modèle de croissance non linéaire. Sur la base de ces données on a ainsi pu confirmer une culmination précoce de la croissance en hauteur. Le frêne y a atteint à la moyenne des tailles plus élevées que l'érable (chapitre 4.1).

Le développement de la taille de la base du houppier et du fût dépourvu de branches a montré une relation étroite entre la taille de l'arbre, le diamètre à 1,30 m ainsi qu'avec l'âge de l'arbre, témoignant ainsi de la qualité des conditions stationnelles. Les fourches exercent une influence sensible sur la hauteur de la base du houppier et du fût sans branches. Les arbres solitaires se distinguent très nettement par une dynamique d'élagage naturel qui leur est propre. En se référant à un certain type de forme des fûts on peut déduire les modalités de la branchaison interne d'un fût. Lorsque la croissance radiale augmente, on observe une augmentation du coeur branchu au sein du fût. Avec des conditions stationnelles meilleures mais avec une croissance radiale restée identique, on

note des fûts dépourvus de branches sur une section plus longue, ce qui devrait se traduire par un cœur branchu plus faible (chapitre 4.2. et 4.3)

Pour **les mesures au niveau des bourrelets cicatriciels des branches** on a pu valider les résultats des modèles de la dynamique de l'élagage. La durée de la cicatrisation des bourrelets de branches primaires mortes est caractérisée par d'importantes fluctuations individuelles, mais on peut néanmoins lui appliquer un modèle de régression multiple. Il existe une relation étroite entre la longueur de la branche et le diamètre à la base. Les branches d'arbres solitaires affichent une croissance divergente (chapitre 4.4).

Les investigations en rapport avec **l'élagage artificiel** de frênes et d'érables font apparaître qu'une telle pratique permet de générer une diminution de la largeur du cœur dans la section dotée de branches ainsi qu'une réduction de la durée de cicatrisation (chapitre 4.5).

On a aussi relevé la présence de **gourmands** chez les frênes et les érables. Les arbres à statut social inférieur, à croissance radiale ralentie ou encore subissant une baisse de la longueur relative du houppier sont particulièrement prédisposés à l'apparition de gourmands lesquels sont d'autant plus abondants sur le fût jusqu'à la base du houppier. Il y a lieu de noter aussi que les frênes ont davantage de gourmands vivants d'une longueur inférieure au mètre que les érables (chapitre 4.6).

Il existe une relation fonctionnelle étroite entre la largeur de la couronne comme paramètre dépendant modélisable, le diamètre à 1,30 cm et l'âge de l'arbre. **Il n'a pu être mis en évidence une influence des conditions stationnelles sur le modèle qui aurait une quelconque application pratique.** Seules les observations des frênes laissent entrevoir que des arbres poussant en milieux les plus favorables affichent des couronnes plus larges que ceux de stations plus ingrates. Les éclaircies et les statuts sociaux différents se répercutent au niveau de la croissance radiale d'un arbre. **La croissance en diamètre** d'arbres solitaires et l'extension des couronnes divergent de celle d'arbres issus de peuplements denses. On a pu mettre en évidence une influence nette des conditions de site sur la croissance en diamètre des arbres solitaires (chapitre 5.1 et 5.2).

Les lois régissant les mécanismes de croissance des arbres ont permis de formuler **des objectifs de production** ainsi que des aides à la décision. Pour des objectifs donnés on a ainsi pu pour la première fois faire une prédiction quantitative pour l'élagage en fonction du diamètre du fût, la période de production et le nombre d'arbres objectifs par hectare. On peut obtenir de la sorte des frênes d'un diamètre de 60 cm (à 1,30 m) en l'espace de 75 ans et avec un fût dépourvu de branches long de 16,0 m, pour une densité de 64 arbres objectifs à l'hectare (33 m comme indice de productivité par hauteur). Pour les érables, les mêmes performances sont acquises avec des fûts longs de 11,8 m pour une densité de 72 arbres-objectifs à l'hectare (30 m comme indice de productivité par hauteur) (chapitre 7.1).

Des aides à la décision ont été présentées en fonction des objectifs de productivité librement fixés (chapitre 7.2). Ces derniers comportent un modèle d'éclaircie ciblant les arbres objectifs se rapportant au nombre de concurrents à éliminer par arbre objectif, une courbe norme du nombre d'arbre, des espacements, et un quotient dimensionnel (chapitre 7.3) ainsi qu'une proposition de gestion pour ajuster l'élagage et la croissance radiale en deux phases.

12 LITERATURVERZEICHNIS

- ABETZ, P. (1960): Die Genauigkeit der Radialzuwachs- und Jahrringbreitenmessung mit der Eklundschen Jahrringmeßmaschine an Stammscheiben und Bohrspänen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 131: 74-80.
- ABETZ, P. (1975): Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung in Fichtenbeständen. Allgemeine Forstzeitschrift, 30: 666-667.
- ABETZ, P.; MERKEL, O. (1968): Aststärken und Schaftovalität in Fichten-Reihenbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 139: 138-145.
- ACHTERBERG, W. (1963): Sortierungsmerkmale und Furnierholzqualität bei Ahorn, Ruster und Birke. Dissertation, Universität Berlin, 206 S.
- ALLEGRI, C. H.; BOISTOT-PAILLARD, R.; BOUVET, J. Y.; DEPIERRE, A.; MOUREY, J. M. (1998): Les feuillus précieux en Franche-Comté. Edition 1998 Edition, Société Forestière de Franche-Comté (eds.), 29 S.
- ALTHERR, E.; UNFRIED, P.; HRADEZKY, J.; HRADEZKY, V. (1974): Statistische Rindenbeziehungen als Hilfsmittel zur Ausformung und Aufmessung unentrindeten Stammholzes, Teil I: Kiefer, Buche, Hainbuche, Esche und Roterle. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Band 61, 137 S.
- ALTHERR, E.; UNFRIED, P.; HRADEZKY, J.; HRADEZKY, V. (1975): Statistische Rindenbeziehungen als Hilfsmittel zur Ausformung und Aufmessung unentrindeten Stammholzes, Teil II: Europäische Lärche, Japanische Lärche, Schwarzkiefer, Stieleiche, Traubeneiche, Roteiche, Bergahorn und Linde. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Band 68, 201 S.
- AMMANN, P. (1997): Wie wirksam ist unsere Jungwaldpflege? Wald und Holz, 97: 7-11.
- ANONYMUS (1984): Indrumar Pentru Amenajarea Padurilor. Institutul de Cercetari Forestiere, II: 195-222.
- APPLEQUIST, M. B. (1958): A Simple Pith Locator for Use with Off-center Increment Cores. Journal of Forestry, 56: 141
- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1996): Forstliche Standortsaufnahme. Eching bei München, IHW-Verlag, Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 5. Auflage, 352 S.
- ARBOGAST, M. (1992): L'Érable à fibres ondulées: Ressources, critères de reconnaissance. Revue Forestière Française, XLIV n° spécial: 160-175.
- ARMAND, G. (1995): Feuillus précieux - Conduite des plantations en ambiance forestière - Merisier, érable sycomore, frêne, chêne rouge d'Amérique. Paris, Editions IDF, Institut pour le Développement Forestier (eds.), 113 S.
- ASSMANN, E. (1953): Die Standortfrage und die Methodik von Mischbestandsuntersuchungen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 125: 149-153.
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. München, Bonn, Wien, BLV Verlagsgesellschaft, 490 S.
- AUSSENAC, G. (1986): La Maîtrise du microclimat en plantation. Revue Forestière Française, XXXVIII: 285-292.

- BAILEY, R. L.; CLUTTER, J. L. (1974): Base-Age Invariant Polymorphic Site Curves. *Forest Science*, 20: 155-159.
- BALANDIER, P. (1997): A Method to Evaluate Needs and Efficiency of Formative Pruning of Fast-Growing Broad-Leaved Trees and Results of an Annual Pruning. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 809-816.
- BALLEUX, P.; MICHALOWSKI, M. (1996): Orientation sylvicole - Le Frêne (*Fraxinus excelsior* L.). Centre de Développement Agroforestier de Chimay (eds.), Chimay, 38 S.
- BARRET, J. W.; HOLMSGAARD, E. (1964): Thinning in Hardwoods - Danish Guidelines for Americal Practices. *Journal of Forestry*, 62: 716-720.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1999): Pflegegrundsätze für Edellaubbaumarten und Schwarzerle. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (eds.), München, 20 S.
- BECK, O.; GÖTTSCHE, D. (1973): Untersuchungen über das Konkurrenzverhalten von Edellaubhölzern in Jungbeständen. *Forstarchiv*, 47: 89-91.
- BELL, S. (2003): Valuable Broadleaved Trees in the Landscape. In: SPIECKER, H.; HEIN, S.; THIES, M. (eds.) (2003): Valuable Broadleaved Forests in Europe, Research-Report, European Forest Institute, in preparation.
- BELSLEY, D. A. (1991): Condition Diagnostics: Collinearity and Weak Data in Regression. New York, John Wiley, Wiley series in probability and mathematical statistics, 396 S.
- BERTO, H. (1900): Verhalten der Eiche und anderer Laubhölzer in Buchenbeständen. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen*, XXXII: 187-212.
- BESNARD, G.; CARLIER, G. (1990): Potentiel hydrique et conductance stomatique des feuilles de frêne (*Fraxinus excelsior* L.) dans une forêt alluviale du Haut-Rhône français. *Annales des Sciences Forestières*, 47: 353-365.
- BINGGELI, P.; BLACKSTOCK, P. (1999): Impact of Exposure on Extension Growth and Stem Quality of Young Ash and Sycamore in Farm Forestry Plantations. *Agroforestry Forum*, 9: 19-23.
- BINNER, V.; BOSCH, T.; ELLING, W.; GULDER, H. J.; KÖLLING, C. (2000): Gibt es eine Nährstoff-Mangelgrenze der Esche? *Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald*, 5/2000: 220-222.
- BLAISE, F.; DE REFFYE, P.; HOULLIER, F. (1996): Sawing Logs in Virtual Trees. In: Proceedings: IUFRO WP S5.01-04 "Biological Improvement of Wood Properties" Second Workshop "Connection Between Silviculture and Wood Quality through Approaches and Simulation Software" Berg-En-Dal (South Africa), 26.08.1996 - 31.08.1996, NEPVEU, G. (eds.), INRA, Nancy, 203-212 S.
- BONSEN, K. J. M. (1996): Architecture, growth dynamics and autecology of the sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.). *Arboricultural Journal*, 20: 339-354.
- BORTZ, J. (1999): Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin, Springer, 5., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, 836 S.
- BOSSHARD, H. H. (1951): Variabilität der Elemente des Eschenholzes in Funktion von der Kambiumaktivität. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 102: 648-665.

- BOSSHARD, H. H. (1953): Der braune Kern der Esche - Mikroskopische Untersuchungen im verkernten Holz. Holz als Roh- und Werkstoff, 11: 349-353.
- BOSSHARD, H. H. (1955): Zur Physiologie des Eschenbraunkerns. Journal Forestier Suisse, 106: 592-612.
- BOZZUTO, L. M.; WILSON, B. F. (1988): Branch Angle in Red Maple Trees. Canadian Journal of Forest Research, 18: 643-646.
- BRÜEL, T. (1969): Nogle traearters ydeevne pa Frijsenborg [Growth and yield for some species in Frijsenborg estate]. Dansk Skovforening Tidsskrift, 54: 141-165.
- BUCUR, V. (1992): La structure anatomique du bois d'érable ondé. Revue Forestière Française, XLIV n° spécial: 150-155.
- BUDD, W. W.; DURCHART, I.; HARDESTY, L. H.; STEINER, F. (1990): Planning for Agroforestry. In: Proceedings: Papers presented at an international symposium, held at Washington State University, Pullman on April 24 - 27, 1989, Amsterdam, 338 S.
- BULFIN, M.; RADFORD, T. (1998a): Effect of Early Formative Shaping on Newly Planted Broadleaves - Part 1: Quality. Irish Forestry, 55: 35-51.
- BULFIN, M.; RADFORD, T. (1998b): Effect of Early Formative Shaping on Newly Planted Broadleaves - Part 2: Height and Diameter Growth. Irish Forestry, 55: 52-61.
- BURGER, H. (1951): Ertragskundliche Grundlagen zur Frage der Massen- und der Qualitätsholzerzeugung. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen, 102: 185-201.
- BURK, T. E.; NELSON, N. D.; ISEBRANDS, J. G. (1983): Crown Architecture of Short-Rotation, Intensively Cultured Populus. III. A Model of First-Order Branch Architecture. Canadian Journal of Forest Research, 13: 1107-1116.
- BURSCHEL, P.; HUSS, J. (1997): Grundriss des Waldbaus: ein Leitfaden für Studium und Praxis. Berlin, Parey-Verlag, 2., neubearb. und erweiterte Auflage, 487 S.
- BUTIN, H.; KOWALSKI, T. (1986): Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen. European Journal of Forest Pathology, 16(3): 129-138.
- BÖCKMANN, T. (1990): Wachstum und Ertrag der Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.) in Niedersachsen und Nordhessen. Dissertation, Universität Göttingen, 143 S.
- BÖRNER, M. (1997): Zu Wachstum und Wachstumsreaktion der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) nach Freistellung in fortgeschrittenen Alter: Eine einzelbaumorientierte Untersuchung waldwachstumskundlicher und betriebswirtschaftlicher Aspekte der sogenannten Zieldurchmesserernte. Dissertation, Universität Freiburg i. Br., 197 S.
- BÖRTH, M. (1990a): Erwiderung zur Stellungnahme von S. Wagner. Allgemeine Forstzeitschrift, 32/1990: 806-807.
- BÖRTH, M. (1990b): Vereschung-Problem oder Chance? Allgemeine Forstzeitschrift, 9-10: 225-226.
- BÜSGEN, M.; MÜNCH, E. (1928): Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena, G. Fischer Verlag, 3. neubearb. u. verb. Auflage, 426 S.
- CABANETTES, A.; AUCLAIR, D.; IMAM, W. (1999): Diameter Height Growth Curves for Widely-Spaced Trees in European Agroforestry. Agroforestry Systems, 43: 169-181.

- CARBONNIER, C. (1947): Produktionsöversikter för ask. Meddelungen från Statens Skogsforskningsinstitut, 36: 1-44.
- CARLIER, G.; PELTIER, J.-P.; GIELLY, L. (1992): Comportement hydrique du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) dans une formation montagnarde mésoxérophile. Annales des Sciences Forestières, 49: 207-223.
- CARMEAN, W. H. (1972): Site Index Curves for Upland Oaks. Forest Science, 18: 109-120.
- CHAPMAN, D. G. (1961): Statistical Problems in Population Dynamics. In: Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkley, 153-168 S.
- CHISMAN, H. H.; SCHUMACHER, F. X. (1940): On the Tree-Area Ratio and Certain of its Applications. Journal of Forestry, 38: 311-317.
- CLAESSENS, J.; PAUWELS, D.; THIBAUT, A.; RONDEUX, J. (1999): Site Index Curves and Autecology of Ash, Sycamore and Cherry in Wallonia (Southern Belgium). Forestry, 72: 171-182.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. (1983): Timber Management - A Quantitative Approach. Malabar, Florida, John Wiley & Sons, Reprint Edition 1992, 333 S.
- CLUZEAU, C.; LE GOFF, N.; OTTORINI, J. M. (1994): Development of Primary Branches and Crown Profile of *Fraxinus excelsior*. Canadian Journal of Forest Research, 24: 2315-2323.
- COHEN, J. (1988): Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Hillsdale New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 2. Edition, 567 S.
- COHEN, J.; COHEN, P. (1983): Applied multiple regression/ correlation analysis. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 2. Edition, 545 S.
- COLE, W. G. (1995): Hardwood Tree Crown Measurement Guide. Ontario, Canada, 18 S.
- CULLETON, N.; MCLOUGHLIN, A.; MURPHY, W. E.; DUFFY, C. (1996): Deciduous trees for farm forestry. Farm and Food, 6: 4-7.
- CUNDALL, E. P.; CAHALAN, C. M.; PLOWMAN, M. R. (1998): Early Results of Sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) Provenance Trials at Farm-Forestry in England and Wales. Forestry, 71: 237-245.
- CURTIS, R. O.; REUKEMA, D. L. (1970): Crown Development and Site Estimates in a Douglas-fir Plantation Spacing Test. Forest Science, 16: 287-301.
- DAGNELIE, P.; PALM, R.; RONDEUX, J.; THILL, A. (1999): Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, Presses Agronomiques de Gembloux, deuxième Edition, 126 S.
- DAVIDSON, C. G.; REMPHREY, W. R. (1990): An Analysis of Architectural Parameter of Male and Female *Fraxinus pennsylvanica* in Relation to Crown Shape Crown Location. Canadian Journal of Botany, 68: 2035-2043.
- DAVIDSON, C. G.; REMPHREY, W. R. (1994): Shoot Neoformation in Clones of *Fraxinus pennsylvanica* in Relation to Genotype, Site and Pruning Treatments. Trees: Structure and Function, 8: 205-212.
- DAWKINS, H. C. (1963): Crown Diameters: their Relation to Bole Diameter in Tropical Forest Trees. Commonwealth Forest Revue, 42: 318-333.

- DEL FAVERO, R.; ABRAMO, E.; ZANELLA, A. (1996): La stima della qualità negli alberi in piedi - il caso della rovere e del frassino maggiore. *L'Italia Forestale e Montana*, 51: 367-387.
- DELEUZE, C.; HERVÉ, J. C.; COLIN, F.; RIBEYROLLES, L. (1996): Modelling Crown Shape of *Picea abies*: Spacing Effects. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 1957-1966.
- DEVAUCHELLE, R.; LEVY, G. (1977): Propriétés stationnelles et croissance du Frêne dans l'Est de la France, Études de certains caractéristiques de cette essence. *Annales des Sciences Forestières*, 34: 231-244.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. (1998): *Applied Regression Analysis*. New York, Wiley, 3. Edition, 706 S.
- DUFLOT, H. (1995): Le frêne en liberté. Institut pour le développement forestier (eds.), 192 S.
- DUJESIEFKEN, A.; PEYLO, A.; LIESE, W. (1988): Einfluß der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäume und der Fichte. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110: 371-380.
- DUJESIEFKEN, D.; LIESE, W. (1988): Holzbiologische Untersuchungen über Einzelbaumsanierungen an Stadtbäumen. *Naturschutz und Landschaftspflege in Hamburg - Hamburg*, 22: 289-302.
- DUJESIEFKEN, D.; STOBBE, H.; ECKSTEIN, D. (1998): Langzeitwirkungen von Astungen im Holz von Linde und Roßkastanie. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 117: 305-315.
- DUPLAT, P.; TRAN-HA MIEN (1990): Modélisation d'un faisceau de courbes de croissance en hauteur: ajustement instantané d'un modèle à paramètres communs à toutes les courbes et un paramètre libre. In: *Proceedings: IUFRO Congrès de Montréal*, 05-11. août 1990, 9 S.
- DYER, M. E.; BAILEY, R. L. (1987): A Test of 6 Methods for Estimating True Height from Stem Analysis Data. *Forest Science*, 33: 3-13.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Stuttgart, Ulmer, 5. stark veränd. u. verb. Auflage, 1095 S.
- EN1316-3 (1997): Deutsche Norm: Laub-Rundholz, Qualitäts-Sortierung, Teil 3 Esche und Ahorn, Deutsche Fassung EN1316-3, Normenausschuss Holzwirtschaft und Möbel (NHM) im deutschen Institut für Normung (DIN), 6 S.
- ENDRES, M. (1889): Über den Einfluß der Freihiebe auf die Höhen und Formentwicklung der Bäume im Mittelwalde. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 74: 257-267.
- ENGLER, A. (1924): Heliotropismus und Geotropismus der Bäume und deren waldbauliche Bedeutung. *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das Forstliche Versuchswesen*, XIII: 225-283.
- ERTELD, W. (1959): Der gleichaltrige Mischbestand der Buche mit Esche, Ahorn und Ruster im Muschelkalkgebiet von Nordthüringen. *Archiv für das Forstwesen*, 8: 495-535.

- EWALD, D.; KOHLSTOCK, N.; NAUJOKS, G.; SCHNECK, V. (2001): Lassen sich selektierte Klone in waldbauliche Konzepte einbinden? Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 16/ 2001: 816
- FABBIO, G.; FRATTEGANI, M.; MANETTI, M. C. (1994): Height Estimation in Stem Analysis Using Second Differences. Forest Science, 40: 329-340.
- FAUST, H. (1963): Waldbauliche Untersuchungen am Bergahorn im mitteldeutschen Muschelkalkgebiet, im hessischen Bergland und in den süddeutschen Rheinauen. Dissertation, Hann. Münden, 146 S.
- FINK, S. (1980): Anatomische Untersuchungen über das Vorkommen von Sproß- und Wurzelanlagen im Stammbereich von Laub- und Nadelbäumen. Dissertation, Universität Freiburg, 206 S.
- FORWARD, D. F.; NOLAN, N. J. (1961): Growth and Morphogenesis in the Canadian Forest Species. V. Further Studies of Wood Growth in Branches and Main Axis in *Pinus resinosa* Ait. under Conditions of Open Growth, Suppression and Release. Canadian Journal of Botany, 39: 413-436.
- FRANC, A.; RUCHAUD, F. (1996): Autécologie des feuillus précieux: frêne commun, merisier, érable sycomore, érable plane. Etudes gestion des territoires, 18: 170
- FREISE, C. H.; SPIECKER, H. (1999): Konkurrenzfreies Wachstum der Buche. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 25/1999: 1346-1349.
- FREIST, H. (1973): Beitrag zur Frage der Entwicklung von Esche, Ahorn, und anderen Bunthölzern in einem Buchengrundbestand. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 92: 235-242.
- FREIST, H. (1990): Esche und Buche gemischt, Zu: "Vereschung - Problem oder Chance?". Allgemeine Forstzeitschrift, 20/ 1990: 493-495.
- FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. (1991): SAS System for Regression. SAS Series in Statistical Application, second edition, SAS Institute Inc. (eds.), Cary, NC, USA, 210 S.
- FRIEDRICH, J. M.; DAWSON, J. O. (1984): Soil Nnitrogen Concentration and Juglans Nigra Growth in Mixed Plots with Nitrogen Fixing *Alnus*, *Eleagnus*, *Lespedeza* and *Robinia* Species. Canadian Journal of Forest Research, 14: 864-868.
- FUJIMORI, T. (1993): Dynamics of Crown Structure and Stem Growth Based on Knot Analysis of a Hinoki Cypress. Forest Ecology and Management, 56: 57-68.
- GARFITT, J. E. (1989): Growing Superior Ash. Quarterly Journal of Forestry, 58: 55-61.
- GELINSKY, H. (1933): Die Astreinigung der Rotbuche. Zeitschrift für das Forst- und Jagdwesen, LXV: 289-323.
- GLEISSNER, P. (1999): Das Verzweigungsmuster ausgewählter Laubbaumarten und seine Veränderung durch nicht-pathogene Schädigungen. Palmarum Hortus Francofurtensis, Wissenschaftliche Berichte, PHF 6: 3-132.
- GOELZ, J. C. G.; BURK, T. E. (1992): Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario. Canadian Journal of Forest Research, 22: 776-784.
- GORDON, A. G. (1964): The Nutrition and Growth of Ash, *Fraxinus excelsior*, in Natural Stands in the English Lake District as Related to Edaphic Site Factors. Journal of Ecology, 52: 169-187.

- GRENN, D. J.; SHORTLE, W. C.; SHIGO, A. L. (1981): Compartmentalization of Discolored and Decayed Wood in Red Maple Branch Stubs. *Forest Science*, 27: 519-522.
- GROSSER, D.; TEETZ, W. (1998): Einheimische Nutzhölzer - Vorkommen, Baum- und Stammform, Holzbeschreibung, Eigenschaften, Verwendung. Bonn, HOLZ-ABSATZFONDS - Absatzfonds der deutschen Forstwirtschaft (eds.), überarb. und erg. Fassung, 58 S.
- GRUBER, F. (1992): Dynamik und Regeneration der Gehölze: Baumarchitektur auf ökologisch-dynamischer Grundlage und zur Bioindikation am Beispiel der Europäischen Fichte (*Picea abies* Karst.), Weißtanne (*Abies alba* Mill.), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Franco) und Europäischen Lärche (*Larix decidua* Mill.). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A, 86, Teil I + Teil II, Göttingen, 420 + 176 S.
- HACKER, H. H. (2001): Insekten an Esche. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 34, 70-75 S.
- HAHN, D. (1995): Entscheidungshilfe für die Steuerung des Dickenwachstums von Buche (*Fagus sylvatica* L.). Entwicklung und Aufbau auf der Grundlage eines distanzabhängigen Einzelbaum-Konkurrenzmodells. Dissertation, Universität Freiburg i. Br., 225 S.
- HAMILTON, G. J.; CHRISTIE, J. M. (1971): Forest Management Tables (Metric). Forestry Commission Booklet, 34, Forestry Commission (eds.), London, 201 S.
- HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSENER, K. H. (1998): Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenbourg Verlag München Wien, 11. durchgesehene Auflage, 975 S.
- HASENAUER, H. (1997): Dimensional Relationships of Open-Grown Trees in Austria. *Forest Ecology and Management*, 96: 197-206.
- HASENAUER, H.; STAMPFER, E.; ROHRMOSER, C. H.; STERBA, H. (1994): Solitärdimensionen der wichtigsten Baumarten Österreichs. *Österreichische Forstzeitung*, 3/1994: 28-29.
- HEIN, S. (2003): Natural and Artificial Pruning Dynamics. In: SPIECKER, H.; HEIN, S.; THIES, M. (eds.) (2003): Valuable Broadleaved Forests in Europe, Research-Report, European Forest Institute, in preparation.
- HENRIKSEN, H. A.; BRYNDUM, H. (1989): Zur Durchforstung von Bergahorn und Buche in Dänemark. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 38-39/ 1989: 1043-1045.
- HERRE, C. (1928): Erfahrungen mit amerikanischen und deutschen Eschen. *Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft*, 40: 212-213.
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN(1999): Grundsätze und Empfehlungen zur naturnahen Wirtschaftsweise im Hessischen Staatswald (Stand 1. Januar 1999). HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN(eds.), Wiesbaden, 91 S.
- HOCHBICHLER, E.; KRAPFENBAUER, A. (1988): Behandlungsprogramme für die Werteichenproduktion im Wienerwald und Weinviertel. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 105: 1-23.

- HOCHBICHLER, E.; KRAPPENBAUER, A.; MAYRHOFER, F. (1990): Ein Pflegemodell für Eichenjungbestände - Grünästung eine wirtschaftliche Problemlösung der Wertholzproduktion. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 107: 1-12.
- HOFMANN, F. R. (1922): Erziehung von Eschen- und Ahornnutzholz im Laubholzgebiet der Schwäbischen Alb. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 98: 73-84.
- HRADEZKY, J. (1983): Zur Optimierung des Stichprobenplans der Luftbild-Waldschadensinventur in Baden-Württemberg. Allgemeine Forstzeitschrift, 43-44/1083: 1096-1097.
- HUBERT, M.; COURRAUD, R. (1994): Élagage et tailles de formation des arbres forestiers. Paris, Édition Institut pour le Développement Forestier, 2e édition, 301 S.
- HULDEN, E. (1941): Studien über *Fraxinus excelsior* L. Acta Botanica Fennica, Societas pro Fauna et Flora Fennica, 28:-250.
- HUMMEL, F. C. (1951): Studies of Growth and Yield - Increment of Free Grown Oak. Forestry Commission Report on Forest Research, 12: 65-66.
- HUSSENDÖRFER, E. (2002): Genetische Differenzierung von Baumarten in der Rheinaue - Beispiel Esche. Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung, 18: 131-136.
- IN, K.; RONDEUX, J.; THILL, A. (1972): Étude dendrométrique de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.) et du merisier (*Prunus avium* L.). Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 7, 134-190 S.
- INCOLL, L. D.; CORRY, D. T.; WRIGHT, C.; COMPTON, S. G. (1997): Temperate Silvoarable Agroforestry with Quality Hardwood Timber Species. Agroforestry Forum, 8: 9-11.
- JANSEN, J. J.; SEVENSTER, J.; FABER, P. J. (1996): Opbrengst tabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. In: Proceedings: IBN-rapport 21, Hinkeloord Report No 17, Wageningen, 202 S.
- JOACHIM, H. F. (2001): Wirkungsvolle Landschaftsgestaltung und schnelle Funktionserfüllung durch schnellwachsende Baumarten. Forst und Holz, 56: 95-97.
- JOBLING, J.; PEARCE, M. L. (1977): Free Growth of Oak. Forestry Commission Forest Record, 113, Forestry Commission (eds.), 17 S.
- JOHNSON, N. O. (1935): A trend line for growth series. American Statistical Association, 30: 702-717.
- JOYCE, P. M.; HUSS, J.; MCCARTHY, R.; PFEIFFER, A. (1998): Growing Broadleaves for Ash, Sycamore, Wild Cherry. Dublin, COFORD, National University of Ireland, 144 S.
- KARIUKI, M. (2002): Height Estimation in Complete Stem Analysis Using Annual Radial Growth Measurements. Forestry, 75: 63-74.
- KELLER, R. (1992): Le bois des grands érables: état des connaissances, facteurs de variabilités, aptitudes technologiques. Revue Forestière Française, XLIV n° special: 133-141.
- KENK, G. (1979): Pflegeprogramm "Werteiche". Überlegungen zu einem Betriebszieltyp. EM-8-80, 89-116 S.
- Kern, K. G. (1966): Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Universität Freiburg, 5:-232.
- KERR, G. (1995): Silviculture of Ash in Southern England. Forestry, 68: 63-70.

- KERR, G. (1996): The Effect of Heavy or 'Free Growth' Thinning on Oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *Forestry*, 69: 303-317.
- KERR, G. (1998): A Review of Black Heart of Ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Forestry*, 71: 49-56.
- KERR, G.; EVANS, J. (1993): Growing Broadleaves for Timber. Forestry Commission Handbook, 9, London, 95 S.
- KJÖLBY, V.; SABROE, A. S.; MOLTESEN, P. (1958): AER (*Acer pseudoplatanus* L.). 210 S.
- KLEIN, E. (2000): Lichtungszuwachs in Bergahorn-Jungbeständen. *Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald*, 8/ 2000: 434-436.
- KLEINSCHMIT, J.; SVOLBA, J.; ENESCU, V.; FRANKE, A.; RAU, H. M.; RUETZ, W. (1996): Erste Ergebnisse des Eschen-Herkunftsversuchs von 1982. *Forstarchiv*, 67: 114-122.
- KLÄDTKE, J. (1992): Konstruktion einer Z-Baum-Ertragstafel am Beispiel der Fichte. Dissertation, Universität Freiburg i. Br., 110 S.
- KNORR, A. (1987): Ernährungszustand, Standortsansprüche und Wuchsleistung der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) in Bayern. *Forstliche Forschungsberichte München*, 82, München, 240 S.
- KOLLMANN, F. (1941): Die Esche und ihr Holz. Schriftenreihe "Eigenschaften und Verwertung der deutschen Nutzhölzer", 1, Berlin, 147 S.
- KOVÁCS, F. (1986): A Mag eredetű kőrisek fatermése [Yield of stands of seed origin]. *Erdeszeti-kutatasok*, 78: 225-240.
- KRAFT, G. (1884): Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klindworth, 147 S.
- KRAJICEK, J. E.; BRINKMAN, K. A.; GINGRICH, S. F. (1961): Crown Competiton - a Measure of Density. *Forest Science*, 7: 35-42.
- KRAMER, H.; AKCA, A. (1995): Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. Frankfurt/Main, J.D. Sauerländer's, 3. erweiterte Auflage, 266 S.
- KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, TH. T. (1960): *Physiology of Trees*. New York, McGraw-Hill, 642 S.
- KRAUSE, C. (1992): Ganzbaumanalyse von Eiche, Buche, Kiefer und Fichte mit dendroökologischen Methoden unter besonderer Berücksichtigung von Klima-Wachstums-Beziehungen und Weiserjahren. Dissertation, Universität Hamburg, 163 S.
- KÖHL, M. (1991): Anzahl Wiederholungen in der Versuchsplanung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110: 95-103.
- LANNER, R. M. (1985): On the Insensitivity of Height Growth to Spacing. *Forest Ecology and Management*, 13: 143-148.
- LARSON, Ph. R. (1963): *Stem Form Development of Forest Trees*. Monograph, 5. Edition, 42 S.
- LAVNY, V. (2000): [Besonderheiten der Struktur von Eschenbeständen der Westlichen Waldsteppe in der Ukraine], (Ukrainisch: Osoblyvosti formuwannja jasenewyh derevostaniw Zahidnogo Lisostepu Ukrainy). Dissertation, Ukrainische Staatliche Forsttechnische Universität, Lviv, 176 S.

- LE GOFF, N. (1982): Productivité du frêne en région Nord-Picardie A. - Courbes de croissance en hauteur. *Annales des Sciences Forestières*, 39: 259-287.
- LE GOFF, N.; GRANIER, A.; OTTORINI, J. M.; LE GALL, K.; PFEIFFER, M. (1995): Croissance du frêne, structure de l'appareil photosynthétique et disponibilité en eau. *Revue Forestière Française*, n° speciale: 48: 156-164.
- LE GOFF, N.; LEVY, G. (1984): Productivité du frêne en région Nord-Picardie B. - Etude des relations entre la productivité et les conditions de milieu. *Annales des Sciences Forestières*, 41: 135-170.
- LE GOFF, N.; MADECLAIRE, A. (1985): Étude de la potentialité des stations forestières des plateaux calcaires de Lorraine pour l'Érable *Sycomore* (*Acer pseudoplatanus* L.) et le Merisier (*Prunus avium* L.). In: Proceedings: Colloques Phytosociologiques, XIV Pytosociologie et Foresterie, Nancy, 551-571 S.
- LECLERCQ, A. (1975): La qualité du bois de frêne. *Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux*, 10: 497-526.
- LEDGARD, N.; GILLER, M. (1998): Deciduous Hardwood Species - Early Silvicultural Options for Growing Timber on Farms. *New Zealand Forestry*, 42: 16-21.
- LEIBUNDGUT, H. (1954): Die Rolle der Edellaubbaumarten im Wirtschaftswald. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 125: 203-211.
- LEIBUNDGUT, H. (1956): Beitrag zur Rassenfrage bei der Esche. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 107: 165-174.
- LEIBUNDGUT, H.; AUER, C.; BURCKHARDT, R. W. (1976): Grundlagen der Jungwaldpflege: Ergebnisse zwanzigjähriger Untersuchungen über die Vorgänge der Ausscheidung, Umsetzung und Qualitätsentwicklung in jungen Eichenbeständen. *Annales de recherche forestière suisse*, 52: 311-371.
- LEMPERIERE, G.; MALPHETTES, C. B. (1983): Observations sur l'Ecologie de deux coleoptères ravageurs du Frêne *Leperesinus fraxini* PANZ. (Coleoptera, Scolytidae), *Stereonychus fraxini* De Geer (Coleoptera, Curculionidae). *Revue Forestière Française*, XXXV: 283-288.
- LESSEL, W. (1950): Wachstumsuntersuchungen beim Bergahorn. *Forst und Holzwirt*, 24: 387-388.
- LIESE, W.; DUJESIEFKEN, D.; BREMER, J. (1988): Wundreaktionen bei Linde nach Astung in der Baumpflege. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 107: 184-196.
- LIU, C. J. (1986): Rectifying radii on off-center increment cores. *Forest Science*, 32: 1059-1061.
- LONSDALE, D. (1993): A comparison of 'target' pruning, versus flush cuts and stub pruning. *Arboriculture Research Note - Department of the Environment, UK*, 116: 4 S.
- LORIMER, D. G.; DAHIR, S. E.; SINGER, M. T. (1999): Frequency of Partial and Missing Rings in *Acer saccharum* in Relation to Canopy Position and Growth Rate. *Plant Ecology*, 143: 189-202.
- LÖHR, E. (1969): Jahresringverlust bei Laubbäumen mit ringporigem Holz. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 140: 18-20.
- MAGIN, R. (1963): Standortsgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 8: 128-130.

- MAGUIRE, D. A.; HANN, D. W. (1987): A Stem Dissection Technique for Dating Branch Mortality and Reconstructing Past Crown Recession. *Forest Science*, 33: 858-871.
- MATTHECK, C.; KÜBLER, H. (1997): *Wood - The Internal Optimization of Trees*. Berlin, Springer, 129 S.
- MAURER, E. (1963): Waldbauliche und holzkundliche Untersuchungen an Eschen im Allgäu. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 82: 162-188.
- MAYER-WEGELIN, H. (1952): *Das Aufasten der Waldbäume*. Hann. Münden, Verlag M. & H. Schaper - Hannover, 92 S.
- MAYER, R. (1958): Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 129: 151-163.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG(1997): *Richtlinien zur Jungbestandspflege*. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (eds.), Stuttgart, 16 S.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG(1999): *Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen.*, Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (eds.), Stuttgart, 54 S.
- MITCHELL, K. J. (1969): Simulation of the Growth of Even-Aged Stands of White Spruce. *School of Forestry, Bulletin* 75, 48 S.
- MITSCHERLICH, G. (1978): *Wald, Wachstum und Umwelt, Band I: Form und Wachstum*. Frankfurt am Main, J.D. Sauerländer's Verlag, 2., überarb. Auflage, 144 S.
- MONSERUD, R. A.; EK, A. R. (1977): Prediction of Understory Tree Height Growth in Northern Hardwood Stands. *Forest Science*, 23: 391-400.
- MÄKINEN, H. (1999): Growth, Suppression, Death, and Self-pruning of branches of Scots Pine in Southern and Central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 585-594.
- MØLLER, C. M.; GRAM, K. (1951): Mørk Kerne Hos Ask. *Dansk Skovforenings Tidsskrift*, 36: 414-436.
- MØLLER, C. M.; NIELSEN, C. (1959): Bonitetsvise Tilvaekstoversigter for Ask i Danmark ca. 1950. *Dansk Skovforenings Tidsskrift*, 44: 340-402.
- MÜLLER, G. (1957): Über den Einfluß exzentrischer Querschnittformen der Waldbäume auf die Genauigkeit der Querflächenbestimmung mittels Umfangmessung - 1. Mitteilung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 76: 35-54.
- MÜLLER, G. (1958a): Untersuchungen über die Querschnittsform der Baumschäfte - 2. Mitteilung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 77: 41-59.
- MÜLLER, G. (1958b): Untersuchungen über die Querschnittsform der Baumschäfte - 3. Mitteilung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 77: 374-381.
- MÜNCH, E.; DIETRICH, V. (1925): Kalkeschen und Wasserreschen. *Forstliche Wochenschrift Silva*, 13: 129-135.
- NAGEL, J. (1985): *Wachstumsmodell für Bergahorn in Schleswig-Holstein*. Dissertation, Universität Göttingen, 124 S.
- NAIR, P. K. R. (1993): *An Introduction to Agroforestry*. Dordrecht, KLUWER, 499 S.
- NEPVEU, G. (1992): L'utilisation des bois de frêne et de merisier: aptitudes technologiques, facteurs de variabilité. *Revue Forestière Française*, XLIV n° special: 142-149.

- NEPVEU, G.; MADELESCLAIRE, A. (1986): Variabilité de quelques critères de qualité du bois chez l'érable et le merisier sur les plateaux calcaires de Lorraine. INRA-CRF (eds.), Nancy-Campenoux - Station de Recherches sur la Qualité des Bois, 62 S.
- NEWBERRY, J. D. (1991): A Note on Carmeans Estimate of Height from Stem Analysis Data. *Forest Science*, 37: 368-369.
- NINGRE, F. (1997): Une définition raisonnée de la fourche du jeune hêtre. *Revue Forestière Française*, XLIX: 32-40.
- NUTTO, L. (1999): Neue Perspektiven für die Begründung und Pflege von jungen Eichenbeständen. Ergebnisse einer Untersuchung zur Kronenentwicklung, Astreinigung und Dickenwachstum junger Stiel- und Traubeneichen in Europa (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Dissertation, Universität Freiburg i. Br., Freiburger Forstliche Forschung, 5: 198 S.
- NUTTO, L.; SPIECKER, H. (2000): Production of Valuable Wood: A Software Aided Decision Tool for Managing Oak Stands (*Quercus petraea* Liebl. and *Q. robur* L.) in Europe. *Glas. Sum. Pokuse*, 37: 37-49.
- NÜBLEIN, S. (1995): Struktur und Wachstumsdynamik jüngerer Buchen-Edellaubholz-Mischbestände in Nordbayern. Forstliche Forschungsberichte München, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 151: 295 S.
- O'HARA, K. L.; BUCKLAND, P. A. (1996): Prediction of Pruning Wound Occlusion and Defect Core Size in Ponderosa Pine. *Western Journal of Applied Forestry*, 11: 40-43.
- OKALI, D. U. U. (1966): A Comparative Study of the Ecologically Related Tree Species *Acer pseudoplatanus* and *Fraxinus excelsior*; I. The Analysis of Seedling Distribution. *Journal of Ecology*, 54: 129-141.
- OLIVER-VILLANUEVA, J. V. (1993): Holzeigenschaften der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und ihre Variabilität in Hinblick auf Alter und Standraum. Dissertation, Universität Göttingen, 174 S.
- OLIVER-VILLANUEVA, J. V.; BECKER, G. (1993): Verwendungsrelevante Holzeigenschaften der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und ihre Variabilität im Hinblick auf Alter und Standraum. *Forst und Holz*, 48: 387-391.
- OLIVER-VILLANUEVA, J. V.; QUER, M.; BECKER, G. (1996): Influence of Structural Parameters on the Nondestructive Evaluation of Ash Timber (*Fraxinus excelsior* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54: 109-112.
- OPPERMANN, A.; BORNEBUSCH, C. H. (1929): Højskov af ask. Det forstliche Forsøgsvaesen i Danmark, 10: 31-84.
- OSWALD, H. (1981): Résultats principaux des places d'expérience de chêne du Centre national de Recherches forestières. *Revue Forestière Française*, XXXIII, n° spéciale: 65-85.
- PAYANDEH, B.; WANG, Y. (1994): Relative Accuracy of a New Base-Age Invariant Site Index Model. *Forest Science*, 40: 341-348.
- PELTIER, J.-P.; MARIGO, G. (1998): Tolérance du frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) à la sécheresse. *Écologie*, 29: 399-402.

- PETRUNCIO, M.; BRIGGS, D.; BARBOUR, R. J. (1997): Predicting Pruned Branch Stub Occlusion in Young, Coastal Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 1074-1082.
- PICARD, J. F. (1982): Contribution à l'étude de la biologie florale et de la fructification du Frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.). *Revue Forestière Française*, XXXIV: 97-107.
- PICKETT, S. T. A. (1989): Space-for-Time Substitution as an Alternative to Long-Term Studies. In: LIKENS, G. E. (eds.) (1989): *Long-Term Studies in Ecology - Approaches and Alternatives*, Berlin, Springer-Verlag Berlin New York, 110-135
- PILARD-LANDEAU, B.; LE GOFF, N. (1996): Sylviculture du Frêne. *Bulletin technique*, 31, Office National des Forêts (eds.), 9-14 S.
- PILARD-LANDEAU, B.; LE GOFF, N. (1997): Qualitätsholzproduktion bei Esche. *Österreichische Forstzeitung*, 4: 16-18.
- POPPER, K. P. (1994): *Logik der Forschung*. Tübingen, Verlag J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), 10. verb. und verm. Auflage, 481 S.
- PRETZSCH, H. (2001): *Modellierung des Waldwachstums*. Berlin, Parey-Verlag, 341 S.
- PÄIVINEN, R.; KÖHL, M. (1997): *Study on Forestry Information and Communication System - Reports on Forestry Inventory and Survey System*. Vol. 1 Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Liechtenstein. Vol. 2 Luxembourg, The Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom, Czech Republic, Hungary, Poland. European Commission. Office for Official Publications of the European Communities, Office for Official Publications of the European Communities (eds.), Luxembourg, 1328 S.
- QUER, M. (1997): Einfluß unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungsmodelle auf die Verwertung und Verarbeitung von Eschenschnittholz (*Fraxinus excelsior* L.). Dissertation, Universität Göttingen, 219 S.
- RAPEY, H. (1994): Les vergers à bois précieux en prairie pâturée: Objectifs, principes et références. *Revue Forestière Française*, XLVI: 61-71.
- RAPRAEGER, E. F. (1939): Development of Branches and Knots in Western White Pine. *Journal of Forestry*, 37: 239-245.
- REMPHREY, W. R.; DAVIDSON, C. G. (1992): Branch Architecture and its Relation to Shoot-Tip Abortion in Mature *Fraxinus pennsylvanica*. *Canadian Journal of Botany*, 70: 147-153.
- REMPHREY, W. R.; DAVIDSON, C. G.; BLOUW, M. J. (1987): A Classification Analysis of Crown Form in Green Ash (*Fraxinus pennsylvanica*). *Canadian Journal of Botany*, 65: 2188-2195.
- RICHARDS, F. J. (1959): A Flexible Growth Function for Empirical Use. *Journal of Experimental Botany*, 10: 290-300.
- ROHMEDER, E. (1949): Der geschlechtliche Dimorphismus als pflanzenzüchterisches Problem, dargestellt an den Wuchsleistungen männlicher und weiblicher Eschen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 68: 680-691.
- ROHMEDER, E. (1952): Untersuchung über die Verteilung der Geschlechter bei den Blüten von *Fraxinus excelsior*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 71: 17-29.

- ROLOFF, A. (2001a): Baumkronen: Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Stuttgart, Ulmer, 181 S.
- ROLOFF, A. (2001b): Biologie und Ökologie der Esche. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 13/ 2001: 660-661.
- RUST, S.; SAVILL, P. S. (2000): The Root System of *Fraxinus excelsior* and *Fagus sylvatica* and their Competitive Relationships. Forestry, 73: 499-508.
- RYSAVY, T. (1991): Ursachen der Vereschung - ein Beitrag zu einem vieldiskutierten Phänomen. Forstarchiv, 62: 184-188.
- RYSAVY, T.; ROLOFF, A. (1994): Ursachen der Vereschung in Mischbeständen und Vorschläge zu ihrer Vermeidung. Forst und Holz, 49: 392-395.
- RÖHLE, H.; HUBER, W. (1985): Untersuchungen zur Methode der Ablotung von Kronenradien und Berechnung von Kronengrundflächen. Forstarchiv, 56: 238-243.
- RÖHRIG, E. (1966): Mischbestände aus Edellaubbaumarten und Buche. Forst und Holz, 21: 59-64.
- RÖÖS, M. (1990): Zum Wachstum der Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten. Dissertation, Göttingen, Forstwissenschaftlicher Fachbereich, 162 S.
- SACHS, H. (1966): Eigenschaften, Bewertung und Verwendung von Ahorn- und Eschenholz. Allgemeine Forstzeitschrift, 3: 54-57.
- SAVILL, P. S. (1991): The Silviculture of Trees used in British Forestry. Wallingford, 129 S.
- SAVILL, P. S.; SPILSBURY, M. J. (1991): Growing Oaks at Closer Spacings. Forestry, 64: 373-384.
- SCHLESINGER, R. C. (1978): Increased Growth of Released White Oak Pole Continuous through two Decades. Journal of Forestry, 11: 226-227.
- SCHMIDT, M. (2001): Prognosemodelle für ausgewählte Holzqualitätsmerkmale wichtiger Baumarten. Dissertation, Universität Göttingen, 302 S.
- SCHOBER, M. (1995): Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. J.D. Sauerländer's Verlag, 4. Auflage, 166 S.
- SCHULZ, H. (1959): Untersuchungen über die Bewertung und Güteigenschaften des Eichenholzes aus verschiedenen Wuchsgebieten. Schriftenreihe der Universität Göttingen, 23, 90 S.
- SCHUMACHER, F. X. (1939): A new Growth Curve and its Relation to Timber Yield Studies. Journal of Forestry, 37: 819-820.
- SCHWABE, A.; KRATOCHWIL, A. (1987): Weidbuchen im Schwarzwald und ihre Entstehung durch Verbiß des Wälderviehs: Verbreitung, Geschichte und Möglichkeiten der Verjüngung. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, 49, Karlsruhe,
- SCHWEINGRUBER, F. H. (2001): Dendroökologische Holzanatomie - Anatomische Grundlagen der Dendrochronologie. Bern, Stuttgart, Wien, Verlag Paul Haupt, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (eds.), 472 S.

- SCHÖLCH, M. (1998): Zur natürlichen Wiederbewaldung ohne forstliche Steuerung - dargestellt an Beispielen aus Baden-Württemberg. Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung 1, Freiburg, 255 S.
- SCHÖNBORN, A. (1965): Gibt es Bodenrassen bei Waldbäumen? Allgemeine Forstzeitschrift, 2: 294-296.
- SCHÖNE, B. R.; SCHWEINGRUBER, F. H. (1999): Verzweigte Laubhölzer, anatomische und morphologische Besonderheiten sowie ökologische Bedeutung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 150: 132-141.
- SCHÖPF, J. (1954): Untersuchungen über die Astbildung und Astreinigung der Selber Kiefer. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 73: 275-290.
- SCOHY, J. P. (1990a): Le frêne commun (1ère partie). Silva Belgica, 97: 41-46.
- SCOHY, J. P. (1990b): Le frêne commun (2ème partie: Sylviculture). Silva Belgica, 97: 43-48.
- SHIGO, A. L.; MARX, H. G. (1977): Compartmentalization of Decay in Trees. USDA-Agriculture Information Bulletin, 405, 73 S.
- SHIGO, A. L.; ROGERS, N. F.; MCGINNES, E. A.; FUNK, D. T. (1978): Black Walnut on Kansas Strip Mine Spoils; Some Observations 25 Years after Pruning. United States Department of Agriculture, Forest Service Research Paper, NE-393, 14 S.
- SIOSTRZONEK, E. (1958): Radialzuwachs und Flächenzuwachs: Genauere Bestimmung des Grundflächenzuwachses mit Bohrspänen und Stammscheiben. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 77: 237-253.
- SIT, V.; POULIN-COSTELLO, M. (1994): Catalogue of Curves for Curve Fitting. Biometrics Information Handbook Series, Handbook No. 4, Ministry of Forests Research Program (eds.), Victoria, B.C., 110 S.
- SLOBODA, B. (1971): Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differenzialgleichungen erster Ordnung. Mitteilungen der FVA Baden-Württemberg, 32, Freiburg, 109 S.
- SLOBODA, B.; PFREUNDT, J. (1989): Baum- und Bestandeswachstum, ein systemanalytischer, räumlicher Ansatz mit Versuchsplanungskonsequenzen für die Durchforstung und Einzelbaumentwicklung. Jahrestagung der Sektion Ertragskunde des Verbandes Forstlicher Versuchs- und Forschungsanstalten vom 8.-10.5.89, Altendorf/Olpe, 17/1-17/25 S.
- SOPP, L. (1974): Fatömegszámítási táblázatok - fatermési táblákkal. Budapest, McK Mezőgazdasági Kiadó, 419 S.
- SOULERES, G. (1997a): L'Évolution des prix de bois sur pied (1955 - 1995) Première partie: les principaux produits. Revue Forestière Française, XLIX: 451-468.
- SOULERES, G. (1997b): Les feuillus précieux - les prix des bois sur pied et leur évolution 1955 - 1995. Forêts de France, 404: 2-8.
- SOUTRENON, A. (1991): Élagage artificiel et risques phytosanitaires chez les feuillus. Grenoble, CEMAGREF, Centre National du Machinisme agricole du Génie rural des Eaux et des Forêts (eds.), 103 S.
- SPATHELF, P. (1998): Orientierungshilfe zur Prognose und Steuerung des Wachstums. Freiburger Forstliche Forschung: 4, Dissertation, Universität Freiburg i. Br., 192 S.

- SPELLMANN, H. (1981): Zum Wachstum des Bergahorn in Dänemark. Forst- und Holzwirt, 9: 201-207.
- SPIECKER, H. (1974): Die Simulation als Entscheidungshilfe in der Forstlichen Planung. Dissertation, Universität Freiburg i. Br., 160 S.
- SPIECKER, H. (1983): Durchforstungsansätze bei Eiche unter besonderer Berücksichtigung des Dickenwachstums. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 154: 21-36.
- SPIECKER, H. (1986): Das Wachstum der Tannen und Fichten auf Plenterwaldversuchsflächen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1950 bis 1984. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 157: 152-163.
- SPIECKER, H. (1991): Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. und *Quercus robur* L.). Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 72, Stuttgart, 151 S.
- SPIECKER, H.; MIELIKAINEN, K.; KÖHL, M.; SKOVSGAARD, J. P. (1996): Growth Trends in European Forests, Studies from 12 European Countries. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, European Forest Institute (EFI) Research Report, 5, 372 S.
- SPIECKER, M. (1994): Wachstum und Erziehung wertvoller Waldkirschen. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 181, 92 S.
- SPIECKER, M.; SPIECKER, H. (1988): Erziehung von Kirschenwertholz. Allgemeine Forstzeitschrift, 20/ 1988: 562 – 566.
- STERBA, H. (1976): Ertragstafeln der Österreichischen Bundesforste. Wien, Rieglernik, Institut für Forstliche Ertragslehre der Universität für Bodenkultur (eds.), 180 S.
- SZAPPANOS, A. (1984): Richtlinien zur Züchtung von E-Bäumen der Traubeneiche. Acta Facultatis Forestalis, 1: 31-50.
- TABARI, K. M.; LUST, N. (1999): Monitoring of Natural Regeneration in a Mixed Deciduous Forest. Silva Gandavensis, 64: 58-71.
- TELEWSKI, F. W. (1995): Wind Induced Physiological and Developmental Responses in Trees. In: COUTTS, M. P.; GRACE, J. (eds.) (1995): Wind and Trees, Cambridge, Cambridge University Press, 237-263
- THIBAUT, A.; CLAESSENS, J.; RONDEUX, J. (1992): Établissement de courbes de productivité pour les peuplements de frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en région limono-calcaire du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse. Les Cahier forestiers de Gembloux, 7: 1-20.
- THIES, M. (2004): Die Schaftform von Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) unter besonderer Berücksichtigung der Kronenkonkurrenz. Dissertation, Universität Freiburg i. Br., in Vorbereitung.
- THIES, M.; HEIN, S. (2000): Expertenbefragung zur Bedeutung und Bewirtschaftung von Edellaubbäumen im deutschsprachigen Raum. Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Jahrestagung 2000, Kaiserslautern, 05.-07. Juni 2000, Kaiserslautern, 256-269 S.
- THILL, A. (1970): Le Frêne et sa culture. Gembloux, Éditions Duculot S.A., Les Presses Agronomiques de Gembloux A.S.B.L, Mémoires n°8, 85 S.

- THILL, A. (1975): Contribution à l'étude du frêne, de l'érable sycomore et du merisier (*Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Prunus avium* L.). Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique, 82, 1-12 S.
- THOROE, C.; OLLMANN, H. (2001): Die zukünftige Entwicklung des Holzmarktes in Deutschland, Europa und weltweit - Chancen für schnellwachsende Baumarten? Forst und Holz, 56: 75-80.
- TUFTE, E. R. (2001): The Visual Display of Quantitative Information. Cheshire, Connecticut, Graphics Press, 2. edition, 197 S.
- TUROK, J.; ERIKSON, G.; KLEINSCHMIT, J.; CANGER, S. (1996): Noble Hardwoods Network - Report of the first meeting 24 - 27. March 1996 Escherode, Germany. European Forest Genetic Ressources Programme (EUFORGEN), International Plant Genetic Resources Institute (IGGRI), TUROK, J.; ERIKSON, G.; KLEINSCHMIT, J.; CANGER, S. (eds.), 172 S.
- ULRICH, B. (1995): Der ökologische Bodenzustand - seine Veränderung in der Nacheiszeit, Ansprüche der Baumarten. Forstarchiv, 66: 117-127.
- URBINATI, C.; DE CILLIA, A. (1995): Analisi della distribuzione spaziale e dell'associazionalità di *Acer pseudoplatanus* L. e *Fraxinus excelsior* L. in aceri-frassineti secondari delle Prealpi vente. Monti e Boschi, 46: 44-51.
- UZIELLI, L.; PETRUCCI, B. (1984): Il legno di Frassino: prove sperimentali sulle caratteristiche fisico-meccaniche e sull'influenza del "cuore nero". Monti e Boschi, 35: 43-48.
- ÚHÚL - BRANDÝS N.L. VÚHLM - ZBRASLAV STRNADY (1990): Taxnací Tabulky. Prag, ÚHÚL - Brandýs n.L. VÚHLM - Zbraslav Strnady, 132 S.
- VALENTINE, H. T.; LUDLOW, A. R.; FURNIVAL, G. M. (1994): Modeling Crown Rise in Even-Aged Stands of Sitka spruce and Loblolly pine. Forest Ecology and Management, 69: 189-197.
- VAN MIEGROET, M. (1956): Untersuchungen über den Einfluß der waldbaulichen Behandlung und der Umweltfaktoren auf den Aufbau und die morphologischen Eigenschaften von Eschendickungen im schweizerischen Mittelland. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 32: 229-370.
- VAN MIEGROET, M.; LUST, N. (1972): Aufbau, Wachstum und Reaktionsvermögen von unterdrückten Eschennaturverjüngungen. Band 34, Gent, 38 S.
- VANCLAY, J. K. (1994): Modelling Forest Growth and Yield - Applications to Mixed Tropical Forests. Oxon, CAB International, 312 S.
- VERGER, M.; CORNU, D. (1992): Premier bilan du programme de multiplication végétative de l'érable ondé. Revue Forestière Française, XLIV. n° special: 156-159.
- VOLQUARDTS, G. (1958): Die Esche in Schleswig-Holstein. Dissertation, Universität Göttingen Hann. Münden, 131 S.
- VOLQUARDTS, G. (1960): Ertragskundliche Untersuchungen über die Esche in Schleswig-Holstein. Der Forst- und Holzwirt, 8: 156-158.
- VON AUFSSESS, H. (1975): Über die Bildung einer Schutzsperr an der Astbasis von Laub- und Nadelbäumen und ihre Wirksamkeit gegen das Eindringen von Pilzen in das Kernholz lebender Bäume. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 94: 152-160.

- VON GADOW, A. (1975): Ökologische Untersuchungen in Ahorn-Eschenwäldern. Dissertation, Universität Göttingen, 76 S.
- VON LOCHOW, A. (1987): Strukturanalysen in den Buchenwäldern und Buchen-Mischwäldern der niedersächsischen Naturwaldreservate. Dissertation, Universität Göttingen, 240 S.
- VON LÜPKE, B. (1989): Die Esche - wertvolle Baumart im Buchenmischwald. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 38-39: 1040-1042.
- VON PECHMANN, H. (1956): Untersuchungen über die Festigkeit und Struktur von Eschenholz aus einigen südwestdeutschen Waldgebieten. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 75: 488-512.
- VON PECHMANN, H. (1958): Die Auswirkungen der Wuchsgeschwindigkeiten auf die Holzstruktur und die Holzeigenschaften einiger Baumarten. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen/ Journal forestier suisse, 109: 615-647.
- VON WEDEL, K. (1964): Untersuchungen über Eigenschaften, Verwertung und Verwendung des Ahornholzes. Dissertation, Universität Göttingen Hann. Münden, 176 S.
- WAGENFÜHR, R. (1996): Holzatlas. Leipzig, Leipzig: Fachbuchverlag, 4., Neubearb. Aufl., 688 S.
- WAGENHOFF, A. (1954): Erfahrungen über die Aushaltung und den Verkauf von Oliveneschen. Forstarchiv, 25: 273-275.
- WAGENHOFF, A. (1975): Die Wirtschaft in Edellaubholz/ Buchen-Mischbeständen auf optimalen Standorten im Forstamt Bovenden. Aus dem Walde, 24: 5-60.
- WAGENHOFF, A. (1976): Olivenesche. Holzzentralblatt, 97: 1315-1316.
- WAGNER, S. (1990): Zu: Vereschung - Problem oder Chance? Allgemeine Forstzeitschrift, 32/1990: 806-807.
- WAGNER, S. (1996): Height Increment of Single Plants in Mixed Beech and Ash Regeneration Beneath Old Growth. In: Proceedings: IUFRO Conference, Modelling Regeneration Success and Early Growth of Forest Stands, 10-6-1996, SKOVSGAARD, J. P.; JOHANNSEN, V. K. (eds.), Copenhagen, Danish Forest and Landscape Research Institute, Hoersholm, 518-529 S.
- WARDLE, P. (1959): The Regeneration of *Fraxinus* in Woods with a Layer of *Mercurialis perennis*. Journal of Ecology, 47: 483-497.
- WATERS, T. L.; SAVILL, P. S. (1992): Ash and Sycamore Regeneration and the Phenomenon of their Alternation. Forestry, 65: 417-433.
- WEBER, G. (1998): Wachstum und Ernährungszustand von jungen Eschen (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahornen (*Acer pseudoplatanus* L.) in Abhängigkeit von der Basen- und Al-Sättigung und vom Wasserhaushalt natürlicher Böden. München, Hieronymus Verlag, Ökologie, 234 S.
- WEISE, U. (1987): Beiträge zur Methodik und Genauigkeit von Stammscheiben-, Bohrkern- und Stammanalysen an Tanne und Fichte. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 130, Freiburg, 133 S.
- WEISER, F. (1971): Erste Ergebnisse eines Herkunftsversuches mit Bergahorn, *Acer pseudoplatanus* L. Beiträge für die Forstwirtschaft, 4/1971: 225-227.

- WEISER, F. (1995): Beitrag zur Existenz von Ökotypen der Gemeinen *Esche* (*Fraxinus excelsior* L.). Forstarchiv, 66: 251-257.
- WELLS, J. R.; THOMPSON, P. W. (1981): Age Estimation of Selected Michigan Large Trees. The Michigan Botanist, 20: 181-187.
- WHITEMAN, A.; INSLEY, H.; WATT, G. (1991): Price-Size Curves for Broadleaves. Forestry Commission Occasional Paper, 32, Edinburgh, 34 S.
- WILHELM, G. J.; LETTER, H. A.; EDER, W. (1999a): Die Phase der Dimensionierung. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 5/1999: 236-238.
- WILHELM, G. J.; LETTER, H. A.; EDER, W. (1999b): Zielsetzungen und waldbauliche Prinzipien. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 5/1999: 232-233.
- WILHELM, G. J.; LETTER, H. A.; EDER, W. (1999c): Die Phase der Reife. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald, 5/1999: 239-240.
- WIMMENAUER, K. (1918): Schaftform und Formzahl. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 94: 59-67.
- WIMMENAUER, K. (1919a): Wachstum und Ertrag der Esche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 95: 9-17.
- WIMMENAUER, K. (1919b): Wachstum und Ertrag der Esche - Nach den Aufnahmen der forstlichen Versuchsanstalt für das Großherzogtum Hessen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 95: 37-40.
- WINTERFELD, K. (1955): Untersuchungen über die Auswirkungen der Grünästung bei der Rotbuche. Dissertation, Universität Göttingen, 131 S.
- WYKOFF, W. R.; CROOKSTON, N. L.; STAGE, A. R. (1982): User's Guide to the Stand Prognosis Model. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep, INT-133, Ogden, Utah, 112 S.
- ZIEREN, A. (1970): Zur Ästung von Esche und Eiche. Allgemeine Forstzeitschrift, 36: 771-772.
- ZIMMERLE, H. (1930): Hilfszahlen zur Bonitierung, Vorrats- und Zuwachsschätzung in reinen Eichenbeständen. Mitteilungen der Württembergischen Forstlichen Versuchsanstalt, 1 - 14.
- ZIMMERLE, H. (1942): Beiträge zur Biologie der Esche in Württemberg. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 118: 245-255.
- ZOLLNER, A.; KÖLLING, C. H. (1994): Eschenkulturen auf ungeeignetem Standort. Allgemeine Forstzeitschrift, 4/ 1994: 61-64.
- ZUMER, M. (1966): Astungsversuche an Föhre, Fichte, Birke, Aspe, Esche und Eiche. Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen, XX: 405-581.
- ZYCHA, H. (1953): Der rote Kern der Buche. Holzzentralblatt, 79: 973-974.
- ZÖHRER, F. (1980): Forstinventur: ein Leitfaden für Studium und Praxis. Hamburg, Parey, 207 S.
- ZÜGE, J. (1986): Wachstumsdynamik eines Buchenwaldes auf Kalkgestein - mit besonderer Berücksichtigung der interspezifischen Konkurrenzverhältnisse. Dissertation, Universität Göttingen, 213 S.

13 TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1-1: BISHERIGE WACHSTUMSKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN IN EUROPA ZU ESCHEN UND BERGAHORN.	10
TABELLE 2-1: RELATIVE ABHOLZIGKEITEN PRO LAUFMETER ASTFREIER SCHAFTLÄNGE IM BEZUG ZUM DURCHMESSER IN 1,3 M SCHAFTHÖHE FÜR DIE BERECHNUNG DER INNEREN ÄSTIGKEIT IN VERSCHIEDENEN SCHAFTHÖHEN.	20
TABELLE 2-2: ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE ZWISCHEN DEM DURCHMESSER IN 1,3 M UND 0,3 M SCHAFTHÖHE IM GEMEINSAMEN MODELL FÜR ESCHEN UND BERGAHORN.	21
TABELLE 2-3: ANGESTREBTE SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONS- UND ZUWACHSGRÖßEN DER ZU MESSENDEN ESCHEN UND BERGAHORNE.	23
TABELLE 2-4: STICHPROBENUMFÄNGE FÜR DIE WICHTIGSTEN MODELLPARAMETER.	36
TABELLE 2-5: STICHPROBENUMFÄNGE (N) FÜR DIE WICHTIGSTEN WACHSTUMS-GESETZMÄßIGKEITEN.	38
TABELLE 3-1: SPREITUNG VON GEOGRAFISCHE LÄNGE UND BREITE DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN.	44
TABELLE 3-2: ÜBERSICHT ÜBER DIE SPREITUNG DER STANDORTSBEDINGUNGEN AUF DEN UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN.	44
TABELLE 3-3: SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONS- UND ZUWACHSGRÖßEN DER GEMESSENEN ESCHEN UND BERGAHORNE, BESTANDESÄÄUME UND SOLITÄRE.	45
TABELLE 3-4: SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONS- UND ZUWACHSGRÖßEN DER GEMESSENEN ESCHEN UND BERGAHORNE GEGLIEDERT NACH DER DATENQUELLE.	46
TABELLE 3-5: ANZAHL DER ESCHEN SOWIE SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONS- UND ZUWACHSGRÖßEN DER GEMESSENEN ÄÄUME PRO FRAGESTELLUNG.	47
TABELLE 3-6: ANZAHL DER BERGAHORNE SOWIE SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONS- UND ZUWACHSGRÖßEN DER GEMESSENEN ÄÄUME PRO FRAGESTELLUNG, BESTANDESÄÄUME UND SOLITÄRE.	48
TABELLE 3-7: ANZAHL DER IN DEN EINZELNEN LÄNDERN VERMESSENEN ESCHEN UND BERGAHORNE, BESTANDESÄÄUME UND SOLITÄRE.	49
TABELLE 3-8: ÜBERSICHT ÜBER DIE BEGRÜNDUNGSFORMEN DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN.	50
TABELLE 3-9: ANTEILE DER GEMESSENEN ESCHEN UND BERGAHORNE AUS REIN- UND MISCHBESTÄNDEN.	50
TABELLE 3-10: SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONS- UND ZUWACHSGRÖßEN DER LEBENDEN PRIMÄRÄÄSTE FÜR DIE FRAGESTELLUNG ZUR IH/IS-RELATION UND DES 7JÄHRIGEN GELEITENDEN MITTELS, BESTANDESÄÄUME.	51
TABELLE 3-11: SPANNWEITEN AUSGEWÄHLTER DIMENSIONSGRÖßEN DER LEBENDEN PRIMÄRÄÄSTE FÜR DIE FRAGESTELLUNG ZUM ZUSAMMENHANG ASTLÄNGE-ASTDURCHMESSER, BESTANDESÄÄUME UND SOLITÄRE.	51
TABELLE 3-12: ANZAHL DER AN DEN ESCHEN UND BERGAHORNEN GEWONNENEN STAMMSCHEIBEN UND BOHRKERNE SOWIE DES JÄÄRLICHEN RADIALZUWACHSES UND DER JÄÄRRINGBREITE GEGLIEDERT NACH ENTNAHMEHÖHEN AM SCHAFT.	52

TABELLE 3-13: BANDBREITE DER MESSUNGEN AN DEN VOLLSTÄNDIG ÜBERWALLTEN ÄSTEN AUS NATÜRLICHER ASTREINIGUNG UND ÄSTUNG.....	53
TABELLE 4-1: ERGEBNISSE DER NICHT-LINEAREN REGRESSIONSMODELLS ZUR BERECHNUNG DES HÖHENWACHSTUMS.....	56
TABELLE 4-2: WERTEBEREICHE FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENANSATZ- UND MODELLS ZUR ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN.....	60
TABELLE 4-3: ERGEBNISSE DER SCHRITTWEISEN REGRESSION UND DER VARIANZANALYSE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENANSATZMODELLS.....	61
TABELLE 4-4: GÜLTIGKEITSBEREICHE FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENANSATZMODELLS FÜR ESCHEN- UND BERGAHORNSOLITÄRE.....	68
TABELLE 4-5: PARAMETERSCHÄTZER DES KRONENANSATZMODELLS FÜR ESCHEN- UND BERGAHORNSOLITÄRE.....	68
TABELLE 4-6: ERGEBNISSE DER SCHRITTWEISEN REGRESSION UND DER VARIANZANALYSE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES MODELLS ZUR ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE.....	70
TABELLE 4-7: GÜLTIGKEITSBEREICHE FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DER MODELLE ZUM ZUSAMMENHANG ASTLÄNGE UND ASTDURCHMESSER FÜR ESCHEN UND BERGAHORN.....	81
TABELLE 4-8: ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE ZUR SCHÄTZUNG DES ASTDURCHMESSERS MIT RINDE DURCH DIE ASTLÄNGE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN IN EINEM GEMEINSAMEN MODELL.....	81
TABELLE 4-9: WERTEBEREICH DER JÄHRLICHEN TRIEBLÄNGENZUWÄCHE ENTLANG DES SCHAFTES UND AM AST, SOWIE FÜR HÖHENBONITÄT UND BAUMALTER.....	85
TABELLE 4-10: WERTEBEREICHE FÜR DIE AN DEN ÜBERWALLTEN ÄSTEN ERHOBENEN PARAMETER FÜR ESCHEN UND BERGAHORN (NATÜRLICHE ASTREINIGUNG).....	88
TABELLE 4-11: ERGEBNISSE DER MULTIPLEN LINEAREN REGRESSION ZUR SCHÄTZUNG DES RADIUS DES ASTHALTIGEN KERNS DURCH DEN ASTDURCHMESSER, DEM RADIALZUWACHS IN DER LEBENSZEIT (RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALLTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT) UND DEN ASTANSATZWINKEL, NATÜRLICHE ASTREINIGUNG.....	89
TABELLE 4-12: ERGEBNISSE DER MULTIPLEN LINEAREN REGRESSION ZUR SCHÄTZUNG DER ÜBERWALLUNGSDAUER DURCH DEN RADIALZUWACHS IN DER ÜBERWALLUNGSZEIT (RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALLTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT), DURCH DEN TOTASTHALTIGEN ANTEIL DES ASTHALTIGEN KERNS UND DURCH DEN ASTDURCHMESSER ALS UNABHÄNGIGE VARIABLEN FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, NATÜRLICHE ASTREINIGUNG.....	94
TABELLE 4-13: GÜLTIGKEITSBEREICHE FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DER MODELLE ZUM ZUSAMMENHANG ASTLÄNGE UND ASTDURCHMESSER FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, SOLITÄRE.....	95
TABELLE 4-14: ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE ZUR SCHÄTZUNG DES ASTDURCHMESSERS MIT RINDE DURCH DIE ASTLÄNGE ALS UNABHÄNGIGE VARIABLE; OHNE DIFFERENZIERUNG NACH BAUMART; SOLITÄRE.....	95

TABELLE 4-15: ERGEBNISSE DER MULTIPLEN LINEAREN REGRESSION ZUR SCHÄTZUNG DES ASTHALTIGEN KERNS DURCH DEN ASTDURCHMESSER UND DEM RADIALZUWACHS IN DER LEBENSZEIT (RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT) ALS UNABHÄNGIGE VARIABLEN IM GEMEINSEM MODELL FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, ÄSTUNG), BESTANDESBÄUME. ...	97
TABELLE 4-16: WERTEBEREICHE FÜR DIE AN DEN ÜBERWALTEN ÄSTEN ERHOBENEN PARAMETER FÜR ESCHEN UND BERGAHORN (ÄSTUNG), BESTANDESBÄUME.	97
TABELLE 4-17: ERGEBNISSE DER MULTIPLEN LINEAREN REGRESSION ZUR SCHÄTZUNG DER ÜBERWALLUNGSDAUER DURCH DEN RADIALZUWACHS IN DER ÜBERWALLUNGSZEIT (RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT) UND DURCH DEN ASTDURCHMESSER ALS UNABHÄNGIGE VARIABLEN IN EINEM GEMEINSAMEN MODELL FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, ÄSTUNG, BESTANDESBÄUME.	101
TABELLE 4-18: AUFGLIEDERUNG DER ESCHEN UND BERGAHORNE AUF SOZIALE KLASSEN, KLASSEN DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES UND KLASSEN RELATIVER KRONENLÄNGE, BESTANDESBÄUME.	104
TABELLE 5-1: WERTEBEREICHE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENBREITENMODELLS, BESTANDESBÄUME.	111
TABELLE 5-2: ERGEBNISSE DER SCHRITTWEISEN REGRESSION UND DER VARIANZANALYSE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENBREITENMODELLS, BESTANDESBÄUME.	111
TABELLE 5-3: ARITHMETISCHE MITTELWERTE DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE DER JEWEILS 10 DICKSTEN BÄUME DER HÖHENBONITÄTEN 24 BIS 33 FÜR ESCHEN UND DER HÖHENBONITÄTEN 21 BIS 30 FÜR BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.	116
TABELLE 5-4: ERGEBNISSE DER TRENDANALYSE DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE DER JEWEILS 10 DICKSTEN BÄUME FÜR DIE HÖHENBONITÄTEN 24 BIS 33 (ESCHEN) UND FÜR DIE HÖHENBONITÄTEN 21 BIS 30 (BERGAHORN), BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 5-5: WERTEBEREICHE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENBREITENMODELLS FÜR SOLITÄRE.	117
TABELLE 5-6: ERGEBNISSE DER REGRESSION UND DER VARIANZANALYSE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN FÜR DIE EINZELNEN VARIABLEN DES KRONENBREITENMODELLS FÜR SOLITÄRE.	117
TABELLE 5-7: GÜLTIGKEITSBEREICHE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN DES MODELLS FÜR DIE ENTWICKLUNG DES PLUMPHEITSGRADES VON SOLITÄREN.	117
TABELLE 5-8: ERGEBNISSE DER REGRESSION UND DER VARIANZANALYSE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN MODELLS FÜR DIE ENTWICKLUNG DES PLUMPHEITSGRADES VON SOLITÄREN.	117
TABELLE 5-9: WERTEBEREICHE DES JÄHRLICHEN RADIALZUWACHSES UND DER JAHRRINGBREITE DER ESCHEN- UND BERGAHORNSOLITÄRE GETRENNT NACH DREI STANDORTSGRUPPEN.	117
TABELLE 6-1: ENTSCHEIDUNGSHILFE ZUM ABSCHÄTZEN DES ZEITPUNKTES UND DES BRUSTHÖHENDURCHMESSERS, BEI DEM EINE RELATIVE ASTFREIE SCHAFTLÄNGE VON	

25 % BEZÜGLICH DER ERREICHTEN ENDHÖHE ÜBERSCHRITTEN WIRD. UNTERSTELLT WIRD JEWEILS EIN ZIELDURCHMESSER VON 60 CM, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-2: ENTSCHEIDUNGSHILFE ZUM ABSCHÄTZEN DER HÖHE AM SCHAFT, IN DER DIE BREITE DES ASTHALTIGEN KERNS 1/3 DES SCHAFTDURCHMESSERS ÜBERSCHREITET, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-3: ENTSCHEIDUNGSHILFE ZUM ABSCHÄTZEN DES DURCHSCHNITTLICHEN ASTDURCHMESSERS AN DER KRONENBASIS QUER ZUR PFLANZREIHE BEI UNTERSCHIEDLICHEN PFLANZVERBÄNDEN FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-4: ORIENTIERUNGSHILFE ZUR SCHÄTZUNG DER ÜBERWALLUNGSDAUER IN ABHÄNGIGKEIT VOM ASTDURCHMESSER, DEM RADIALZUWACHS IN DER ÜBERWALLUNGSZEIT UND DEM TOTASTHALTIGEN ANTEIL DES ASTHALTIGEN KERNS FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, NATÜRLICHE ASTREINIGUNG, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-5: ORIENTIERUNGSHILFE ZUR SCHÄTZUNG DER ÜBERWALLUNGSDAUER IN ABHÄNGIGKEIT VOM ASTDURCHMESSER UND DEM RADIALZUWACHS IN DER ÜBERWALLUNGSZEIT FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, ÄSTUNG, BESTANDESBÄUME. ..	117
TABELLE 6-6: ANZAHL DER IN DEN KOMMENDEN 5 JAHREN ZU ENTNEHMENDEN BEDRÄNGER PRO Z-BAUM BEI 65 Z-BÄUMEN/ HA, EINER DURCHMESSERRELATION DER BEDRÄNGER PRO Z-BAUM VON 100%, 90 % UND 80 % UND EINEM ÜBERSCHIRMUNGSGRAD VON 70 %, UND GLEICHBLEIBENDEM DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHS, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-7: ANZAHL DER IN DEN KOMMENDEN 5 JAHREN ZU ENTNEHMENDEN BEDRÄNGER PRO Z-BAUM BEI 75 Z-BÄUMEN/ HA, EINER DURCHMESSERRELATION DER BEDRÄNGER PRO Z-BAUM VON 100%, 90 % UND 80 % UND EINEM ÜBERSCHIRMUNGSGRAD VON 70 %, UND GLEICHBLEIBENDEM DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHS, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-8: BAUMALTER, AB DEM IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ANZAHL DER Z-BÄUME DURCH DIE ENTNAHME VON BEDRÄNGERN MEHR ALS EIN Z-BAUM BEGÜNSTIGT WIRD, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-9: DURCHSCHNITTLICHE BAUMABSTÄNDE BEI VERSCHIEDENEN RADIALZUWACHSVARIANTEN UND BRUSTHÖHENDURCHMESSERN DER Z-BÄUME FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-10: FAUSTFORMEL ZUR BERECHNUNG EINES MINDESTBAUMABSTANDES ALS ENTSCHEIDUNGSHILFE FÜR DIE STEUERUNG DES DICKENWACHSTUMS BEI ESCHEN UND BERGAHORN, ABGELEITET AUS DEM KRONENBREITENMODELL, BESTANDESBÄUME. .	117
TABELLE 6-11: AUSLADUNGSVERHÄLTNISSE FÜR VERSCHIEDENE RADIALZUWACHSVARIANTEN ALS ENTSCHEIDUNGSHILFE ZUR STEUERUNG DES DICKENWACHSTUMS BEI ESCHEN UND BERGAHORN ABGELEITET AUS DEM KRONENBREITENMODELL, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-12: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ZIELDURCHMESSER, DURCHSCHNITTLICHEM RADIALZUWACHS, PRODUKTIONSZEIT, Z-BAUM ANZAHL UND ASTFREIER SCHAFTLÄNGE FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 6-13: KENNZAHLEN VON ESCHEN- UND BERGAHORNSOLITÄREN IN EINEM VIRTUELLEN SOLITÄRBESTAND.....	117

TABELLE 7-1:	UNTERSUCHUNGEN ZUM HÖHENWACHSTUM VON ESCHE IN EUROPA.	117
TABELLE 7-2:	UNTERSUCHUNGEN ZUM HÖHENWACHSTUM VON BERGAHORN IN EUROPA.	117
TABELLE 7-3:	MODELLIERTE KRONENBREITEN FÜR DIE BAUMARTEN ESCHE, BERGAHORN, EICHE (NUTTO & SPIECKER 2000), BUCHE (HAHN 1995) UND ESCHE (LAVNY 2000) FÜR DEN GEMEINSAMEN GÜLTIGKEITSBEREICH DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES VON 2 UND 3 MM, BRUSTHÖHENDURCHMESSER: 60 CM, BESTANDESBÄUME.	117
TABELLE 7-4:	BEISPIELE FÜR VERSCHIEDENE PRODUKTIONSZIELE FÜR ESCHE UND BERGAHORN IN EUROPA, BESTANDESBÄUME.	117

14 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 2-1: EINFLUSSFAKTOREN, GRUNDLEGENDE MODELLE UND ZIELGRÖßEN DES FORSCHUNGSANSATZES SOWIE ABBILDUNG DER ERGEBNISSE IN WALDWACHSTUMSKUNDLICHEN ENTSCHEIDUNGSHILFEN.	17
ABBILDUNG 2-2: BEISPIEL EINES STAMMVERTEILUNGSPLANS UND EINER KRONENKARTE.	26
ABBILDUNG 2-3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER TRIEBLÄNGENMESSUNGEN AN DER STAMMACHSE UND DEN ÄSTEN, SOWIE MÖGLICHER AUSWERTUNGRICHTUNGEN.	31
ABBILDUNG 2-4: PRÄPARATION UND VERMESSUNG DER ÜBERWALTEN ÄSTE IM LABOR, ARBEITSSCHRITTE UND MESSPARAMETER IN DER REIHENFOLGE ES MESSVORGANGS.	32
ABBILDUNG 3-1: LAGE DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN IN EUROPA.	43
ABBILDUNG 4-1: HÖHENZUWÄCHSE DER ESCHEN UND BERGAHORNE AB ALTER 10 IM WOLF'SCHEN RICHTUNGSFELD, DARSTELLUNG ALS WERTETRIPEL AUS HÖHENZUWACHS, ALTER UND HÖHE, BESTANDESÄÄUME.	55
ABBILDUNG 4-2: ÜBERPRÜFUNG DER MODELLERGEBNISSE ZUM HÖHENWACHSTUM. OBEN: GEGENÜBERSTELLUNG DES HÖHENZUWACHSES (MODELL) MIT DEN AUS DER STAMMANALYSE ERHALTENEN WERTEN. MITTE UND UNTEN: DARSTELLUNG DER RESIDUEN ÜBER DEN UNABHÄNGIGEN VARIABLEN ALTER UND HÖHE, BESTANDESÄÄUME.	57
ABBILDUNG 4-3: HÖHENWACHSTUMSVERLAUF FÜR ABSOLUTE HÖHENBONITÄTEN IM ALTER 60 JAHRE VON 33 M, 30 M, 27 M, 24 M UND 21 M FÜR ESCHEN UND VON 30 M, 27 M, 24 M, 21 M, 18 M FÜR BERGAHORN, BESTANDESÄÄUME.	58
ABBILDUNG 4-4: ÜBERPRÜFUNG DES AUS DEM MODELL BERECHNETEN HÖHENZUWACHSVERLAUFES DURCH MESSUNGEN JÄÄRLICHER TRIEBLÄNGENZUWÄCHSE ENTLANG DER SCHAFTACHSE, BESTANDESÄÄUME.	59
ABBILDUNG 4-5: GEGENÜBERSTELLUNG DER GEMESSENEN WERTE DES KRONENANSATZES MIT DEN WERTEN DES MODELLS, BESTANDESÄÄUME.	61
ABBILDUNG 4-6: RESIDUEN AUS DEM KRONENANSATZMODELL ÜBER DEN DREI UNABHÄNGIGEN VARIABLEN BAUMHÖHE (OBEN), BRUSTHÖHENDURCHMESSER (MITTE) UND BAUMALTER (UNTEN), BESTANDESÄÄUME.	63
ABBILDUNG 4-7: BAUMHÖHE UND KRONENANSATZHÖHE ÜBER DEM BRUSTHÖHENDURCHMESSER FÜR DIE HÖHENBONITÄT 33 M UND 27 M UND DIE HÖHENBONITÄT 30 M UND 24 M UND FÜR VARIANTEN DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES VON 3 MM UND 4 MM, BESTANDESÄÄUME.	64
ABBILDUNG 4-8: RELATIVE KRONENANSATZDIFFERENZ ÜBER DEM DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHS IN 1,3 M SCHAFTHÖHE, JEWEILS BESTANDESÄÄUME UND SOLITÄRE).	66
ABBILDUNG 4-9: RELATIVE KRONENANSATZDIFFERENZ ÜBER DER RELATIVEN KRONENRADIUSDIFFERENZ, JEWEILS BESTANDESÄÄUME UND SOLITÄRE).	67
ABBILDUNG 4-10: DARSTELLUNG DER BAUMHÖHE SOWIE DER KRONENANSATZHÖHE VON SOLITÄREN ÜBER DEM BRUSTHÖHENDURCHMESSER.	69

ABBILDUNG 4-11: GEGENÜBERSTELLUNG DER GEMESSENEN WERTE DES ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE MIT DEN WERTEN DES MODELLS, LINKS: ESCHE, RECHTS: BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.	70
ABBILDUNG 4-12: RESIDUEN AUS DEM MODELL ZUR ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE ÜBER DEN DREI UNABHÄNGIGEN VARIABLEN BAUMHÖHE (OBEN), BRUSTHÖHENDURCHMESSER (MITTE) UND BAUMALTER (UNTEN), BESTANDESBÄUME.	71
ABBILDUNG 4-13: BAUMHÖHE UND ASTFREIE SCHAFTLÄNGE ÜBER DEM BRUSTHÖHENDURCHMESSER FÜR DIE HÖHENBONITÄT 33 M UND 27 M UND DIE HÖHENBONITÄT 30 M UND 24 M UND FÜR VARIANTEN DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES VON 3 MM UND 4 MM, BESTANDESBÄUME.	73
ABBILDUNG 4-14: DIFFERENZ ZWISCHEN KRONENANSATZHÖHE UND TOTASTANSATZHÖHE RELATIV ZUR KRONENANSATZHÖHE ÜBER DEM DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHS IN 1,3 M SCHAFTHÖHE, BESTANDESBÄUME.....	75
ABBILDUNG 4-15: INNERE ÄSTIGKEIT FÜR ESCHE FÜR DIE HÖHENBONITÄTEN 33 M UND 27 M UND FÜR BERGAHORN FÜR DIE HÖHENBONITÄTEN 30 M UND 24 M, DARSTELLUNG ALS LÄNGSSCHNITT DURCH DEN SCHAFT, BESTANDESBÄUME.....	76
ABBILDUNG 4-16: DARSTELLUNG DER VERLAGERUNG DES KRONENANSATZES UND DER ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE EINES BAUMES MIT EINEM DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHS IN 1,3 M HÖHE AM SCHAFT VON 4,0 MM/J.....	77
ABBILDUNG 4-17: DARSTELLUNG DES RADIALZUWACHSES IN 1,3 M HÖHE AM SCHAFT DES IN ABBILDUNG 4-23 UND 4-26 GEZEIGTEN BAUMES.	78
ABBILDUNG 4-18: DARSTELLUNG DES MODELLHAFTEN ASTHALTIGEN KERNS FÜR ESCHE FÜR DIE RADIALZUWACHSVARIANTEN 2, 3, 4 UND 5 MM MIT DEN GEMESSEN WERTEN DES ASTHALTIGEN KERNS EINER ESCHE MIT EINEM DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHS VON 4,0 MM/J.....	79
ABBILDUNG 4-19: ENTWICKLUNG VON ASTDURCHMESSER UND ASTLÄNGE FÜR ESCHE UND BERGAHORN IN EINEM GEMEINSAMEN MODELL, BESTANDESBÄUME.	82
ABBILDUNG 4-20: JÄHRLICHE TRIEBLÄNGENZUWÄCHSE AN ÄSTEN UND ENTLANG DER SCHAFTACHSE ÜBER DEM KALENDERJAHR.	83
ABBILDUNG 4-21: TRIEBLÄNGENZUWACHS AM AST ÜBER DEM ASTALTER, BAUMART ESCHE: FLÄCHE: MI_10, BAUM NUMMER 5..	84
ABBILDUNG 4-22: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ASTLÄNGENZUWACHS UND BAUMALTER. DARSTELLUNG DER JÄHRLICHEN ASTLÄNGENZUWÄCHSE DER ASTALTER 2 BIS 4 ÜBER DEM BAUMALTER (OBEN) SOWIE DER ARITHMETISCHEN MITTEL DER JÄHRLICHEN ASTLÄNGENZUWÄCHSE IN ABHÄNGIGKEIT VOM BAUMALTER (UNTEN), BESTANDESBÄUME.	86
ABBILDUNG 4-23: VERLAUF DER IH/IS-RELATION ÜBER DEM BAUMALTER., BESTANDESBÄUME.	87
ABBILDUNG 4-24: GEGENÜBERSTELLUNG DER GEMESSENEN WERTE DES RADIUS DES ASTHALTIGEN KERNS MIT DEN WERTEN DES MODELLS, JEWEILS NATÜRLICHE ASTREINIGUNG, BESTANDESBÄUME.	89
ABBILDUNG 4-25: RESIDUEN AUS DEM MODELL ZUR SCHÄTZUNG DES RADIUS DES ASTHALTIGEN KERNS ÜBER DEN UNABHÄNGIGEN VARIABLEN DURCHMESSER DES ÜBERWALLTEN ASTES (OBEN), DEM RADIALZUWACHS IN DER LEBENSZEIT	

(RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALLTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT, MITTE) UND DEM ASTANLAUFWINKEL (UNTEN, NUR FÜR ESCHEN);, JEWEILS NATÜRLICHE ASTREINIGUNG, BESTANDESÄÄUME.....	90
ABBILDUNG 4-26: DARSTELLUNG DES RADIUS DES ASTHALTIGEN KERNS [CM] AUFGETEILT NACH LEBENDASTHALTIGEM UND TOTASTHALTIGEM TEIL ÜBER DEM DURCHMESSER DES ÜBERWALLTEN ASTES [CM], JEWEILS NATÜRLICHE ASTREINIGUNG, BESTANDESÄÄUME.	91
ABBILDUNG 4-27: DARSTELLUNG DER ÜBERWALLUNGSDAUER (JAHR) ÜBER DEM ASTDURCHMESSER (OBEN), DEM RADIALZUWACHS IN DER ÜBERWALLUNGSPERIODE (RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALLTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT) (MITTE) UND DEM ASTANSATZWINKEL (UNTEN), JEWEILS NATÜRLICHE ASTREINIGUNG, BESTANDESÄÄUME.	93
ABBILDUNG 4-28: ENTWICKLUNG VON ASTDURCHMESSER UND ASTLÄNGE FÜR ESCHEN- UND BERGAHORNSOLITÄRE.	95
ABBILDUNG 4-29: GEGENÜBERSTELLUNG DER GEMESSENEN WERTE DES ASTHALTIGEN KERNS MIT DEN WERTEN DES MODELLS (OBEN, RECHTS) UND ÜBER DEM DURCHMESSER DES ÜBERWALLTEN KERNS (OBEN, LINKS) UND DER RESIDUEN ÜBER DEM RADIALZUWACHS IN DER LEBENSZEIT (RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALLTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT, UNTEN, LINKS), JEWEILS ÄSTUNG, BESTANDESÄÄUME.	98
ABBILDUNG 4-30: DARSTELLUNG DES ASTHALTIGEN KERNS BIS ZUM MARK, AUFGETEILT NACH LEBENDASTHALTIGEM UND TOTASTHALTIGEM TEIL ÜBER DEM DURCHMESSER DES ÜBERWALLTEN ASTES (ESCHEN, ÄSTUNG), BESTANDESÄÄUME.....	99
ABBILDUNG 4-31: DARSTELLUNG DER ÜBERWALLUNGSDAUER (JAHR) ÜBER DEM ASTDURCHMESSER (OBEN) SOWIE ÜBER DEM RADIALZUWACHS IN DER ÜBERWALLUNGSZEIT (UNTEN), FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, JEWEILS ÄSTUNG, RADIALZUWACHS DER STAMMSCHEIBE, DIE DEM EINZELNEN ÜBERWALLTEN AST AM NÄCHSTEN LIEGT, BESTANDESÄÄUME.....	100
ABBILDUNG 4-32: ÜBERWALLTER GEÄSTETER AST VON ESCHEN UND BERGAHORN.....	102
ABBILDUNG 4-33: RELATIVE HÄUFIGKEIT VON ESCHEN NACH KLASSEN UNTERSCHIEDLICHER SEKUNDÄRÄSTDICHTE, BEISPIELHAFT DARSTELLUNG DER HÄUFIGKEITSVERTeilUNG FÜR LEBENDE SEKUNDÄRÄSTE DER LÄNGE ≥ 1 M, BESTANDESÄÄUME.	103
ABBILDUNG 4-34: SEKUNDÄRÄSTDICHTE (< 1 M UND ≥ 1 M LÄNGE) UNTERHALB DES KRONENANSATZES NACH SOZIALEN KLASSEN, BESTANDESÄÄUME.....	105
ABBILDUNG 4-35: SEKUNDÄRÄSTDICHTE (< 1 M UND ≥ 1 M LÄNGE) UNTERHALB DES KRONENANSATZES NACH RADIALZUWACHSKLASSEN, BESTANDESÄÄUME.	107
ABBILDUNG 4-36: SEKUNDÄRÄSTDICHTE (< 1 M UND ≥ 1 M LÄNGE) UNTERHALB DES KRONENANSATZES NACH KLASSEN RELATIVER KRONENLÄNGE, BESTANDESÄÄUME.	108
ABBILDUNG 5-1: GEGENÜBERSTELLUNG DER GEMESSENEN WERTE DER KRONENBREITE MIT DEN WERTEN DES MODELLS SOWIE DER RESIDUEN AUS DEM KRONENBREITENMODELL ÜBER DEN ZWEI UNABHÄNGIGEN VARIABLEN	

BRUSTHÖHENDURCHMESSER (OBEN) UND BAUMALTER (UNTEN), BESTANDESBÄUME.	112
ABBILDUNG 5-2: VERGLEICH DES BRUSTHÖHENDURCHMESSERS (LINKS), DER KRONENBREITE (MITTE) UND DES AUSLADUNGSVERHÄLTNISSE (RECHTS) ZWEIER 33 JÄHRIGER ESCHEN- UND BERGAHORNREINBESTÄNDE, BESTANDESBÄUME.	114
ABBILDUNG 5-3: VERGLEICH DER ARITHM. MITTELWERTE UND EINZELWERTE DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE DER JEWELS 10 DICKSTEN BÄUME DER HÖHENBONITÄTEN 27, 30 UND 33 FÜR ESCHEN, SOWIE DER HÖHENBONITÄTEN 27 UND 30 FÜR BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.	117
ABBILDUNG 5-4: DARSTELLUNG DER KRONENBREITE ÜBER DEM BRUSTHÖHENDURCHMESSER VON SOLITÄREN; ESCHEN: LINKS, BERGAHORN: RECHTS, JEWELS MIT DEN AUS DEM KRONENBREITENMODELL FÜR SOLITÄRE VORHERGESAGTEN WERTEN.	117
ABBILDUNG 5-5: KRONENEXPANSION UND KRONENFORM: VERLAUF DES PLUMPHEITSGRADES VON ESCHEN- (OBEN) UND BERGAHORNSOLITÄREN (UNTEN) ÜBER DEM BRUSTHÖHENDURCHMESSER, JEWELS MIT DEN AUS DEM MODELL VORHERGESAGTEN WERTEN.	117
ABBILDUNG 5-6: VERLAUF DES JÄHRLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE VON ZWEI VORHERRSCHENDEN BÄUMEN AUS UNTERSCHIEDLICHER BESTANDESDICHTE	117
ABBILDUNG 5-7: VERGLEICH DER ARITHM. MITTELWERTE DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES (LINKS) UND DES DURCHSCHNITTLICHEN BRUSTHÖHENDURCHMESSERS (RECHTS) VON JEWELS 25 BÄUMEN AUS UNTERSCHIEDLICHER BESTANDESDICHTE.	117
ABBILDUNG 5-8: VERLAUF DES JÄHRLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE VON ZWEI BERGAHORNEN UNTERSCHIEDLICHER SOZIALER KLASSE.	117
ABBILDUNG 5-9: VERLAUF DER JAHRRINGBREITE IN 1,3 M SCHAFTHÖHE VON FÜNF ESCHENSOLITÄREN.	117
ABBILDUNG 5-10: VERLAUF DER AUS DEN JÄHRLICHEN RADIALZUWÄCHSEN IN 1,3 M SCHAFTHÖHE ABGELEITETEN DURCHMESSERENTWICKLUNG VON ESCHEN- UND BERGAHORNSOLITÄREN.	117
ABBILDUNG 5-11: VERLAUF DES JÄHRLICHEN RADIALZUWACHSES UND DER JAHRRINGBREITE IN 1,3 M SCHAFTHÖHE VON ESCHENSOLITÄREN (OBEN: ÜBERDURCHSCHNITTLICHE STANDORTE, MITTE: DURCHSCHNITTLICHE STANDORTE, UNTEN: UNTERDURCHSCHNITTLICHE STANDORTE) ÜBER DEM BAUMALTER.	117
ABBILDUNG 5-12: VERLAUF DES JÄHRLICHEN RADIALZUWACHSES UND DER JAHRRINGBREITE IN 1,3 M SCHAFTHÖHE VON BERGAHORNSOLITÄREN (OBEN: ÜBERDURCHSCHNITTLICHE STANDORTE, MITTE: DURCHSCHNITTLICHE STANDORTE, UNTEN: UNTERDURCHSCHNITTLICHE STANDORTE) ÜBER DEM BAUMALTER.	117
ABBILDUNG 6-1: ERREICHEN EINER ABSOLUTEN ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE VON 10 M BEI ESCHEN (OBEN, HÖHENBONITÄT 33 M) UND BERGAHORN (UNTEN, HÖHENBONITÄT 30 M) FÜR VERSCHIEDENE RADIALZUWACHSVARIANTEN, BESTANDESBÄUME.	117

ABBILDUNG 6-2: ERREICHEN EINER AUF DIE ENDHÖHE ZU EINEM BESTIMMTEN ZEITPUNKT BEZOGENEN RELATIVEN ASTFREIEN SCHAFTLÄNGE VON 20, 25, 33 UND 40 % FÜR DIE RADIALZUWACHSVARIANTE 3 MM, BESTANDESÄÄUME.....	117
ABBILDUNG 6-3: VOLUMEN ASTFREIEN SCHAFTHOLZES ÜBER DIE GESAMTE ASTFREIE SCHAFTLÄNGE DER Z-BÄÄME JE HEKTAR FÜR VERSCHIEDENE RADIALZUWACHSVARIANTEN GRUPPIERT NACH HÖHENBONITÄTEN IM ALTER 60 J, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 6-4: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES GEWINNS AN ASTFREIEM HOLZ DURCH ÄSTUNG FÜR DIE HÖHENBONITÄTEN 33 M (ESCHE, LINKS) UND 24 M (BERGAHORN, RECHTS) FÜR DIE VARIANTEN DES DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES 2, 3, 4 UND 5 MM, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 6-5: ENTWICKLUNG DER BAUM-ANZAHL/ HA FÜR VERSCHIEDENE RADIALZUWACHSVARIANTEN FÜR ESCHÄ UND BERGAHORN, BESTANDESÄÄUME.....	117
ABBILDUNG 6-6: MÖGLICHE ZIELDIMENSIONEN FÜR ESCHÄ UND BERGAHORN AUF SEHR GUTEM STANDORT, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 6-7: ZWEIPHASIGES PFLEGEKONZEPT FÜR ESCHÄ: 1. PHASE (OBEN): ERREICHEN EINER BESTIMMTEN ASTFREIEN SCHAFTLÄNGÄ. 2. PHASE (UNTEN): KEINE WEITERE ASTREINIGUNG, FÖRDERUNG DES DICKENWACHSTUMS DURCH FREISTELLUNG.....	117
ABBILDUNG 6-8: ZWEIPHASIGES PFLEGEKONZEPT FÜR BERGAHORN: 1. PHASE (OBEN): ERREICHEN EINER BESTIMMTEN ASTFREIEN SCHAFTLÄNGÄ. 2. PHASE (UNTEN): KEINE WEITERE ASTREINIGUNG, FÖRDERUNG DES DICKENWACHSTUMS DURCH FREISTELLUNG.....	117
ABBILDUNG 6-9: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES ASTHALTIGEN KERNS BEI EINEM ZWEIPHASIGEN PFLEGEKONZEPT.....	117
ABBILDUNG 7-1: HÖHENWACHSTUM VON ESCHÄ UND BERGAHORN.....	117
ABBILDUNG 7-2: HÖHENWACHSTUM VON ESCHÄ UND BERGAHORN IM EINZELVERGLEICH MIT DEM HÖHENWACHSTUM DER BUCHE.....	117
ABBILDUNG 7-3: MODELHAFTE VERLAGERUNG DES KRONENANSATZES ÜBER EINEN ZEITRAUM VON 5 JAHREN FÜR VERSCHIEDENE VARIANTEN DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE FÜR ESCHÄ UND BERGAHORN, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 7-4: MODELHAFTE VERLAGERUNG DER ASTFREIEN SCHAFTLÄNGÄ ÜBER EINEN ZEITRAUM VON 5 JAHREN FÜR VERSCHIEDENE VARIANTEN DURCHSCHNITTLICHEN RADIALZUWACHSES IN 1,3 M SCHAFTHÖHE FÜR ESCHÄ UND BERGAHORN, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 7-5: EINFLUSS DER HÖHENBONITÄT AUF DIE BAUMHÖHE UND DIE ASTFREIE SCHAFTLÄNGÄ BEI ESCHÄ UND BERGAHORN, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 7-6: EINFLUSS DES HÖHENWACHSTUMSVERLAUFS AUF DIE BAUMHÖHE UND DIE VORHERSAGE DER ASTFREIEN SCHAFTLÄNGÄ AM BEISPIEL ESCHÄ, BESTANDESÄÄUME.	117
ABBILDUNG 7-7: DREIDIMENSIONALE DARSTELLUNG DES GEMESSENEN ASTHALTIGEN KERNS EINES BAUMES ZUSAMMEN MIT DEM MODELHAFTEM ASTHALTIGEN KERN FÜR DIE RADIALZUWACHSVARIANTE 4 MM, BESTANDESÄÄUME.....	117

- ABBILDUNG 7-8:** VERGLEICH DES ZUSAMMENHANGS ZWISCHEN KRONENBREITE UND BRUSTHÖHENDURCHMESSER FÜR ESCHEN UND BERGAHORN AUS DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG SOWIE FÜR ESCHEN VON LAVNY (2000), VON EICHEN VON NUTTO & SPIECKER (2000) SOWIE VON BUCHEN VON HAHN (1995), BESTANDESBÄUME.117
- ABBILDUNG 7-9:** VERGLEICH DES ZUSAMMENHANGS ZWISCHEN KRONENBREITE UND BRUSTHÖHENDURCHMESSER BEI SOLITÄREN FÜR ESCHEN UND BERGAHORN AUS DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG MIT EICHEN UND BUCHEN AUS EINER UNTERSUCHUNG VON HASENAUER (1997).....117
- ABBILDUNG 7-10:** VERGLEICH ENTSCHEIDUNGSHILFE ZUR BAUMZAHLHALTUNG MIT ANDEREN PFLEGEKONZEPTEN FÜR ESCHEN UND BERGAHORN, BESTANDESBÄUME.....117



Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung)	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten:	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe
*mit Unterteilung in Felder		Nördl. Breite/ Östl. Länge		[°C]	[mm/ m²]
Eschenreinbestände					
5081 (13)	Paihle/ B	50° 25' 5° 15'	Frischer nährstoffreicher Lehm, Vergleyung	8,3	850
5088 (13)	Paihle/ B	50° 25' 5° 15'	Frischer mit tonangereicherter Lehm, Braunerde	8,3	850
5914 (13)	Onhaye/ B	50° 15' 4° 50'	Frischer nährstoffreicher Lehm, geringe Vergleyung	8,3	850
5917 (13)	Sovet/ B	50° 18' 5° 3'	Frischer, mit tonangereicherter Lehm, Braunerde	8,3	850
5925 (13)	Celles/ B	50° 14' 5° 1'	Frischer nährstoffreicher Lehm, mittelmäßige Vergleyung	8,3	850
5929 (13)	Conneux/ B	50° 16' 5° 4'	Mäßig frischer, nährstoffreicher, skeletthaltiger Lehm, Braunerde	8,3	850
5930 (13)	Conneux/ B	50° 16' 5° 4'	Mäßig frischer, nährstoffreicher skeletthaltiger Lehm, Braunerde	8,3	850
59381 (13)	Havelange/ B	50° 24' 5° 14'	Frischer, nährstoffreicher Lehmboden, Braunerde	8,3	850
59382 (13)	Havelange/ B	50° 24' 5° 14'	Frischer, nährstoffreicher Lehmboden, Braunerde	8,3	850
5940 (13)	Paihle/ B	50° 25' 5° 15'	Mäßig frischer, nährstoffreicher, skeletthaltiger Lehm, Braunerde	8,3	850
59821 (13)	Purnode/ B	50° 19' 4° 57'	Mäßig frischer Lehm, mittelmäßige Vergleyung	8,3	850
59822 (13)	Purnode/ B	50° 19' 4° 57'	Mäßig frischer Lehm, mittelmäßige Vergleyung	8,3	850
ES_01 (1, 3, 6, 10, 13, 15)	Emmen- dingen/ D	48° 5' 7° 50'	Frischer nährstoffreicher Tonlehm, Braunerde	9,5	900
ES_02 (1, 3, 6, 7, 10, 13, 15)	Emmen- dingen/ D	48° 5' 7° 50'	Frischer nährstoffreicher Tonlehm, Braunerde	9,5	900
ES_03 (1, 3, 6, 10,	Kenzingen/ D	48° 5' 7° 50'	Grundfrischer bis frischer tiefgründiger Lehmschlick,	9,0	850

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
13, 15)			teilweise schwach vergleyst		
ES_04 (13)	Freiburg/ D	48° 3' 7° 48'	Mäßig frischer lehmig-sandiger Lockerboden	9,0	850
ES_05 (13)	Freiburg/ D	48° 3' 7° 48'	Mäßig frischer schluffiger, nährstoffreicher Lehm, -	9,0	850
ES_06 (13)	Kenzingen/ D	48° 5' 7° 50'	Mäßig frischer bis mäßig trockener, mittel- bis tiefgründiger schluffig-lehmiger Sand	9,0	850
ES_07 (13)	Kenzingen/ D	48° 5' 7° 50'	Mäßig frischer bis frischer sandiger Lehm und Lehmschlick, Kalkauen-Rendzina	9,0	850
ES_08 (2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15)	Beaumont-les-Montbozon/ F	47° 25' 5° 45'	Mäßig frische mittelgründiger Lehm, Braunerde	9,5	1050
ES_09 (2, 7, 11, 12, 13, 15)	Rougemont/ F	47° 30' 6° 20'	Mäßig frischer, nährstoffreicher Tonboden, Braunerde-Pelosol	9,5	1025
ES_10 (2, 7, 11, 12, 13, 15)	Rougemont/ F	47° 30' 6° 20'	Mäßig frischer, nährstoffreicher Tonboden, Braunerde-Pelosol	9,5	1025
ES_12 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Luxembourg-Ouest/ LUX	49° 35' 6° 15'	Mäßig frischer bis frischer gut nährstoffversorgter sandiger Lehm, Braunerde	8,3	880
ES_13 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15)	Lichtenfels/ D	55° 50' 6° 45'	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter Ton, Braunerde-Rendzina	8,0	750
ES_14 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15)	Lichtenfels/ D	55° 50' 6° 45'	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter Ton, Braunerde-Rendzina	8,0	750
ES_17 (3, 5, 6, 12, 13, 15)	Rougemont/ F	47° 25' 5° 45'	Mäßig frischer, nährstoffreiche, toniger Lehm, Braunerde,	9,0	950
ES_18 (1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15)	Rougemont/ F	47° 25' 5° 45'	Mäßig frischer, teilweise schwach wechselfeuchter nährstoffreicher, toniger Lehm, Braunerde,	9,0	950
ES_19 (1, 3, 5, 6, 12,	Müllheim/ D	49° 46' 49,4" 7° 37' 53,9"	Frischer kalkhaltiger Lehm, kolluviale Braunerde	9,0	850

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
13, 15)					
ES_20 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 13, 15)	Offenburg/ D	48° 28' 37,0" 7° 51' 48,6"	Grundfeuchter bis schwach wechselfeuchter Lehm, Braunerde	9,5	750
ES_21* (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Steyregg/ AU	48° 16' 30,3" 14° 22' 39,9"	Frischer, nährstoffreicher, schluffiger Lehm, Braunerde	9,0	900
ES_23 (5, 7, 9, 12, 13, 15)	Glocester- shire/GB	51° 54' 37,4" 2° 18' 22,1"	Sickerfrischer, gut nährstoffversorgter Lehm, Gley	9,0	670
ES_24 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Garnous Estate/ GB	52° 50' 22,6" 2° 53' 42,5"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter schluffiger Ton, Braunerde	9,1	810
ES_25 (1, 2, 9, 10, 12, 13, 15)	Garnous Estate/ GB	52° 06' 03,1" 2° 57' 07,4"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter schluffiger Ton, Braunerde	9,1	810
ES_26 (1, 2, 9, 12, 13, 15)	Ptuj/ SL	46° 16' 20,0" 15° 42' 48,8"	Frischer tiefgründiger, gut nährstoffversorgter Lehm, Braunerde	9,0	1200
ES_27 (1, 2, 3, 6, 9, 12, 13, 15)	Zagreb/ HR	45° 54' 34,2" 15° 58' 9,9"	Frischer tiefgründiger, gut nährstoffversorgter Lehm, Braunerde	6,4	1200
ES_28 (1, 3, 5, 6, 12, 13, 15)	Zagreb/ HR	45° 54' 8,6" 15° 57' 30,8"	Frischer tiefgründiger, gut nährstoffversorgter Lehm, Braunerde	6,4	1200
ES_29 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Krtiny/ CR	49° 05' 54,1" 16° 37' 09,0"	Feuchter, nährstoffreicher Lehm, Auebraunerde	9,4	510
ES_30 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15)	Sorø/ DK	55° 31' 45,6" 11° 37' 25,7"	Frischer sandiger Lehm, Gley	7,7	910
ES_31 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 15)	Zidlochovice/ PL	48° 56' 49,3" 16° 35' 44,5"	Toniger Lehm, Gley mit regelmäßige Überflutung	9,0	520
ES_32 (2, 3, 6, 9, 12, 13, 15)	Krtiny/ CR	49° 19' 03,7" 16° 40' 20,6"	mäßig frischer, nährstoffreicher toniger Lehm, Pararendzina	7,4	590
ES_33 (1, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Siemanice/ PL	51° 12' 19,2" 18° 02' 35,6"	Mäßig frischer, mäßig nährstoffversorgter, toniger Sand auf Sand, podsolige Braunerde	8,0	600

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geografische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Langjähriges Jahresmittel der Lufttemperatur [°C]	Langjähriges Jahresmittel der Niederschlagssumme [mm/ m ²]
ES_34 (3, 5, 6, 12, 13, 15)	Jarocin/ PL	52° 07' 41,5" 17° 30' 45,1"	Reiner Sand, Marschboden über, natürliche Überflutungsdynamik mit ein- bis dreimaliger Überflutung/ J	7,9	650
ES_35 (3, 5, 6, 7, 9, 13, 15)	Krtiny/ CR	49° 05' 41,5" 16° 37' 06,8"	Nasser, gut nährstoffversorgter Lehm, Auebraunerde	9,4	510
Bergahornreinbestände					
AH_02 (13)	Kenzingen/ D	48° 14' 7° 41'	Grundfrischer bis frischer, tiefgründiger Lehmschlick, zum Teil vergleyte Kalkaue	9,0	850
AH_03 (13)	Kenzingen/ D	48° 14' 7° 41'	Mäßig frischer bis grundfrischer Schwemmlöß, Auenbraunerde	9,0	850
AH_05 (2, 3, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15)	Lichtenfels/ D	55° 50' 6° 45'	Mäßig frischer zum Teil wechselfeuchter karbonathaltiger Tonlehm, -	8,0	750
AH_06 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15)	Besancon/ F	47° 30' 6° 20'	Mäßig frischer, nährstoffreicher, toniger Lehm, Braunerde,	9,0	950
AH_07 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15)	Ingolstadt/ D	48° 44' 11° 15'	Speicherfrischer, nährstoffreicher Auelehm, Auenbraunerde	8,0	700
AH_08* ohne Feld 02 – 04 (3, 5, 6, 12, 13)	Villers-la-Ville/ B	50° 36' 12,8" 4° 34' 11,2"	Mäßig frischer bis frischer, nährstoffreicher schluffiger Lehm, Braunerde	9,3	800
AH_09* ohne Feld 02 (3, 5, 6, 12, 13)	Villers-la-Ville/ B	50° 35' 50,6" 4° 32' 24,6"	Mäßig frischer bis frischer, nährstoffreicher, schluffiger Lehm, Braunerde	9,3	815
AH_10* (1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15)	Namur/ B	50° 26' 59,3" 4° 46' 36,2"	Mäßig frischer bis frischer nährstoffreicher schluffiger Lehm, Braunerde	9,5	750
AH_11 (1, 2, 3, 6, 9, 12, 13, 15)	La Rochette/ LUX	49° 47' 25,6" 6° 13' 31,7"	Mäßig frischer, nährstoffreicher sandiger Lehm, Braunerde	8,3	880
AH_12* (3, 6, 13)	Farkasgyepü/ HU	47° 12' 4,2" 17° 40' 20,6"	Frischer, nährstoffreicher Schlufflehm, Braunerde	10,0	790
AH_13	Wilhering/ AU	48° 16' 36,6"	Frischer, nährstoffreicher	8,0	900

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
(1, 3, 6, 12, 13, 15)		14° 13' 57,0"	Lehm auf Granitverwitterung, Braunerde		
AH_14 (2, 5, 7, 9, 12, 13, 15)	Hartpur College/ GB	51° 54' 32,8" 18° 54' 9,0"	Sickerfrischer, gut nährstoffversorgter Lehm, Gley	9,0	670
AH_15 (1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15)	Bolton Estate/ GB	54° 18' 18,0" 1° 54' 12,8"	Mäßig frischer toniger Lehm auf Kalkstein, Braunerde- Rendzina	7,8	1035
AH_16 (1, 3, 6, 12, 13, 15)	Ptuj/ SL	46° 16' 47,3" 15° 42' 43,0"	Frischer, tiefgründiger, gut nährstoffversorgter Hanglehm, Braunerde	9,0	1200
AH_17 (1, 3, 6, 12, 13, 15)	Zalesina/ HR	45° 30' 14° 7'	Mäßig frischer Kalkverwitterungslehm, Rendzina	6,6	1800
AH_18 (1, 2, 3, 6, 9, 12, 13, 15)	Krtiny/ CR	49° 19' 14,8" 16° 46' 32,1"	Mäßig trockener, skelettreicher Kalkverwitterungslehm, Rendzina	7,4	590
AH_19 (1, 3, 6, 12, 13, 15)	Wroclaw, Smilnica/ PL	50° 38' 09,0" 16° 35' 35,0"	Frischer, gut nährstoffversorgter Lehm, Braunerde	6,0	830
AH_25 (3, 5, 6, 7, 12, 13, 15)	Eutin-Schar- beuten/ D	54° 01' 55,0" 10° 43' 00,0"	Mäßig frischer Sand über Geschiebelehm, Braunerde	8,4	750
AH_26 (1, 3, 5, 6, 7, 9, 13, 15)	Abenraa/ DK	55° 07' 26,5" 9° 27' 23,8"	Nährstoffreicher, toniger Lehm, Braunerde	7,9	890
MUELL32 (13)	Müllheim/ D	47° 48' 7° 37'	Frischer, gut nährstoffversorgter Feinlehm, Braunerde	9,0	760
MUELL44 (13)	Müllheim/ D	47° 48' 7° 37'	Frischer Feinlehm, gut nährstoffversorgter Feinlehm, Braunerde	9,0	760
OFF (13)	Offenburg/ D	48° 31' 7° 49'	Frischer Feinlehm, gut nährstoffversorgter Feinlehm, Braunerde	9,5	760
SAECKM (13)	Bad Säckingen/ D	47° 34' 7° 54'	Frischer, gut nährstoffversorgter Feinlehm, Parabraunerde	9,0	990
SAECKW (13)	Bad Säckingen/ D	47° 34' 7° 54'	Frischer, gut nährstoffversorgter Feinlehm Feinlehm, Parabraunerde	9,0	1170

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
Mischbestände					
111a* (1, 3, 6, 13, 15)	Heppenheim/ D	49° 39' 8° 40'	Frischer, eutropher, schluffiger Lehm über sandiger Lehm aus Diorit, sehr tiefgründig, stark subatlantisch	8,0	900
23b* (1, 3, 5, 6, 13, 15)	Heppenheim/ D	49° 39' 8° 40'	Frischer, eutropher, lehmiger Schluff über schluffigem Lehm aus Diorit mit Lößlehm, tief bis sehr tiefgründig, 10 % Steine, stark subatlantisch	8,0	900
34a* (1, 2, 3, 5, 6, 13, 15)	Heppenheim/ D	49° 39' 8° 40'	Feucher, eutropher, lehmiger Schluff über schluffigem Lehm aus Diorit mit Lößlehm, tief bis sehr tiefgründig, 10 % Steine, stark subatlantisch	8,0	900
ADLER1-1 (1, 13, 15)	Breisach/ D	48° 04' 7° 39'	Mäßig frischer Feinlehm	10,0	700
ADLER1-2 (1, 13, 15)	Breisach/ D	48° 04' 7° 39'	Mäßig frischer Feinlehm	10,0	700
AH_01 (1, 7, 10, 11, 13, 15)	Kenzingen/ D	49° 39' 7° 41'	Mäßig frischer stellenweiswe frischer, flachgründiger Lehmschlick, Auenbraunerde	9,0	850
AH_04 (1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15)	Rougemont/ F	47° 30' 6° 20'	Mäßig frische, tiefgründige schluffiger Lehm, kolluviale Braunerde	10,0	1050
AH_08* mit Feld 02 – 04 (3, 5, 6, 13)	Villers-la- Ville/ B	50° 36' 12,8" 4° 34' 11,2"	Mäßig frischer bis frischer, nährstoffreicher schluffiger Lehm, Braunerde	9,3	800
AH_09* mit Feld 02 (3, 5, 6, 13)	Villers-la- Ville/ B	50° 35' 57,0" 4° 32' 24,1"	Mäßig frischer bis frischer, nährstoffreicher, schluffiger Lehm, Braunerde	9,3	815
ES_11 (2, 7, 11, 13, 15)	Rougemont/ F	47° 30' 6° 20'	Mäßig frischer, nährstoffreicher Tonboden, Braunerde-Pelosol	9,5	1025
ES_15* (3, 5, 6, 12, 13)	Uffenheim/ D	54° 50' 5° 50'	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter toniger Lehm, Braunerde	8,5	600
ES_16* ohne Feld 10 bis 13 (3, 5, 6, 12, 13)	Uffenheim/ D	54° 50' 5° 50'	Mäßig trockener toniger Lehm, frischer Lehm, gut nährstoffversorgt, Braunerde	8,5	600

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
ES_22* (3, 6, 12, 15)	Farkasgyepü/ HU	-	Frischer, nährstoffreicher Lehm, Braunerde	10,0	790
Kenz* (13)	Kenzingen/ D	48° 5' 7° 50'	Meist mäßig frische bis frische Lehme, Braunerden	9,5	640
L07 bis L10 (1, 3, 6, 7, 15)	Breisach/ D	48° 04' 7° 39'	Mäßig frischer, nährstoffreicher Feinlehm, Parabraunerde	10,0	700
MI_01* (1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 15)	Gersheim/ D	49° 8' 7° 13'	Mäßig frischer bis frischer toniger Lehm, Parabraunerde	9,0	800
MI_02* ohne Feld 08 (1, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 15)	Wadern/ D	49° 25' 6° 5'	Mäßig frischer, nährstoffreicher Vulkanlehm, Braunerde	8,5	850
MI_03* (3, 5, 6, 12, 13, 15)	Lebach/ D	49° 25' 6° 4'	Mäßig frischer diluvialer Feinlehm und quellfrischer Vulkanitlehm, nährstoffreich, Braunerde	8,0 – 8,5	850
MI_04* ohne Feld 01 (3, 5, 6, 12, 15)	Noironte/ F	47° 25' 5° 45'	Mäßig frischer bis frischer nährstoffreicher toniger Lehm, Braunerde	9,0	950
MI_05* (1, 3, 6, 10, 12, 13, 15)	Klosterlang- heim/ D	55° 50' 6° 45'	Mäßig wechselfeuchter Tonlehm, Braunerde- Pseudogley	8,0	750
MI_06 (1, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 15)	Ulm/ D	48° 22' 9° 52'	Grundfrischer bis frischer, nährstoffreicher Lehmschlick, Auenrendzina bis -braunerde	7,5	790
MI_07* (1, 3, 5, 6, 10, 12, 13, 15)	Ulm/ D	48° 22' 9° 52'	Grundfrischer bis frischer Lehmschlick, und mäßig frischer Kalkverwitterungslehm und mäßig frischer, grundfrischer Ton, nährstoffreich	7,0 - 7,5	790 – 850
MI_08 (1, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Ingolstadt/ D	48° 44' 11° 15'	Speicherfrischer Auelehm	8,0	700
MI_09* (3, 5, 6, 12, 15)	Gersheim/ D	49° 9' 29,6" 7° 10' 23,7"	Frischer Feinlehm auf Kalkverwitterungslehm, Braunerde	9,0	800
MI_10 (1, 2, 3, 5, 6,	Harderwijk/ NL	52° 32' 54,9" 5° 32' 22,1"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter schluffig-	8,4	760

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
7, 9, 10, 12, 13, 15)			toniger Lehm, Braunerde		
MI_11 (2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15)	Harderwijk/ NL	52° 25' 44,1" 5° 43' 17,7"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter schluffig- toniger Lehm, Braunerde	8,4	760
MI_12* (1, 3, 5, 6, 12, 13, 15)	Schorndorf/ D	48° 47' 16,2" 9° 32' 9,2"	Kalkverwitterungslehm mit Schluffauflage	8,0	850
MI_13* (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 13, 15)	Grafenegg/ AU	48° 22' 41,1" 15° 52' 58,8"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter Auelehm, Auenbraunerde	8,0	750
MI_14* (1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15)	Grafenegg/ AU	48° 23' 20,6" 15° 47' 57,6"	Frischer, gut nährstoffversorgter Auelehm, Auenbraunerde	8,0	750
MI_15 (1, 2, 3, 6, 7, 9, 13, 15)	Waldkirch/ D	48° 4' 20,8" 7° 56' 38,0"	Mäßig frischer bis frischer, gut nährstoffversorgter lehmig-grusiger Steinschutt, Braunerde	8,0	1000
MI_16 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Garnons Estate/ GB	52° 05' 37,7" 2° 52' 26,8"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter schluffiger Ton, Braunerde	9,1	810
MI_17 (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 15)	Serrington Estate/ GB	54° 07' 06,9" 0° 40' 48,5"	Mäßig trockener bis mäßig frischer, gut nährstoffversorgter, lehmiger Ton über Kalkstein, Rendzina	8,0	740
MI_18 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Serrington Estate / GB	54° 06' 54,3" 0° 14' 23,4"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter toniger Lehm, Braunerde	8,0	740
MI_19 (3, 5, 6, 12, 13, 15)	Serrington Estate / GB	54° 6' 49,8" 0° 41' 28,0"	Mäßig frischer, gut nährstoffversorgter toniger Lehm, Braunerde	8,0	740
MI_20 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 15)	Bolton Estate/ GB	54° 18' 30,9" 1° 52' 51,4"	Mäßig frischer kalkhaltiger Kalkverwitterungslehm	7,8	1035
MI_26* (3, 5, 6, 13)	Freiburg/ D	48° 3' 7° 48'	Mäßig frischer schluffiger, humoser, nährstoffreicher Lehm	9,0	850
MI_30 (2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Bovenden/ D	51° 39' 5,0" 9° 58' 33,2"	Mäßig frischer, sehr gut nährstoffversorgter, steiniger Kalkverwitterungslehm, mesophiler Kalkbuchenwald	7,8	680
MI_31	Bovenden/ D	51° 34' 49,0"	Sehr frischer Tal- und	7,8	680

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung) *mit Unterteilung in Felder	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten: Nördl. Breite/ Östl. Länge [° ‘ “]	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur [°C]	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe [mm/ m²]
(1, 3, 5, 6, 12, 13, 15)		10° 2' 32,2"	Muldenstandort, mit sehr gut nährstoffversorgter schwerer Tonboden, mesophiler Kalkbuchenwald		
MI_32 (1, 3, 6, 12, 15)	Staufenburg/ D	51° 49' 50,7" 10° 10' 19,0"	Frischer Winterhangstandort, gut nährstoffversorgter kalkhaltiger Mischlehm Boden, mesophiler Kalkbuchenwald	8,0	780
MI_33 (1, 2, 3, 6, 12, 15)	Staufenburg/ D	51° 49' 32,0" 10° 09' 30,8"	Frischer Sommerhang, gut nährstoffversorgter kalkhaltiger Mischlehm Boden, mesophiler Kalkbuchenwald	8,0	780
MI_34 (1, 3, 5, 6, 12, 15)	Eutin-Schar- beuten/ D	54° 01' 39,3" 10° 43' 19,3"	Nasser, mittlerer Lehm und Sand bis 1 m über Geschiebelehm	8,4	750
MI_35 (1, 2, 3, 5, 6, 12, 13, 15)	Abenraa/ DK	55° 02' 42,9" 9° 13' 22,6"	Lehm, Gley, mächtige Humusauflage	7,9	890
MI_36 (1, 2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 15)	Sorø/ DK	55° 31' 45,8" 11° 37' 30,1"	Sandiger Lehm, Muldenlage	7,7	910
Rh01* (1, 2, 3, 5, 6, 10, 12, 13,15)	Kehl/ D	48° 31' 7° 49'	Tiefgründiger, toniger Lehm	9,5 – 10,0	720 – 900
Sp01* (1, 3, 5, 6, 10, 12, 13, 15)	Speyer/ D	49° 17' 8° 28'	Frischer Hochflutlehm aus alluvialen Sanden, Kiesen und Schluffen	9,8	530 – 600
SPEYER (13)	Speyer/ D	49° 17' 8° 28'	Frischer Hochflutlehm aus alluvialen Sanden, Kiesen und Schluffen	9,8	530 – 600
Eschensolitäre					

Übersicht über die Lage und die wichtigsten standortkundlichen Kennwerte der Untersuchungsflächen:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche: (Nr. der Fragestellung)	Lage: Ort/ Staat	Lage: Geo- grafische Koordinaten:	Standort: Wasserhaushalt/ Nährstoffversorgung/ Bodenart/ Bodentyp	Lang- jähriges Jahres- mittel der Luft- tempera- tur	Lang- jähriges Jahres- mittel der Nieder- schlags- summe
*mit Unterteilung in Felder		Nördl. Breite/ Östl. Länge		[°C]	[mm/ m²]
		[° ‘ “]			
ES_10 (2 Bäume)	Rougemont/ F	47° 25' 5° 45'	s. o.	s. o.	s. o.
ES_23 (2 Bäume)	Glocester- shire/GB	51° 54' 37,4" 2° 18' 22,1"	s. o.	s. o.	s. o.
ES_16* mit Feld 10 bis 13	Uffenheim/ D	47° 25' 5° 45'	s. o.	s. o.	s. o.
MI_04* mit Feld 01	Noironte/ F	47° 25' 5° 45'	Sehr unterschiedlich: von mäßig trockenen, Kalkverwitterungslehmen bis frischen grusigem Lehmen, jeweils nährstoffreich	6,5 – 10,0	600 – 1200
S_ES_01 bis S_ES_38 (2, 4, 5, 8, 11, 12, 14, 15, 16, 17)	Diverse Orte in NL und D	48 – 52° 5 – 9°			
Bergahornsolitäre					
S_AH_01 bis S_AH_33 (2, 5, 4, 5, 8, 12, 14, 16, 17)	Diverse Orte in GB und D	47 – 54° 0 – 9°	Sehr unterschiedlich: von trockenen, tonigen Lehmen bis frischen Lehmen, jeweils nährstoffreich	5,0 – 9,5	600 – 1300

Übersicht über die wichtigsten wachstumskundlichen Kennwerte der Untersuchungsbäume:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche *mit Unterteilung in Felder	Baumart/ Anzahl Bäume		Alter	Baumhöhe	Kronenansatz	Brusthöhen-durchmesser	Kronenschirmfläche
	[-] ¹	[-]	(arithm. Mittel) [J]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [cm]	(arithm. Mittel) [m ²]
Eschenreinbestände							
5081	ES	20	59	27,3	13,8	35,2	45,9
5088	ES	20	37	24,4	13,2	21,6	9,1
5914	ES	18	54	29,1	16,9	33,8	38,8
	SLB	2	54	35,0	15,6	67,6	123,7
5917	ES	20	50	27,3	11,3	33,4	26,0
5925	ES	20	59	26,3	10,1	45,4	53,8
5929	ES	18	38	19,0	8,4	19,8	11,7
	SLB	2	-	19,3	9,1	20,2	10,1
5930	ES	17	38	18,8	8,4	17,0	7,5
	SLB	3	-	18,8	9,0	19,4	6,8
59381	ES	20	20	15,2	6,4	16,8	10,9
59382	ES	23	20	15,1	7,2	16,4	8,9
	SLB	2	-	15,9	5,4	18,3	14,6
5940	ES	19	44	26,0	8,6	37,0	32,0
	SLB	1	-	26,5	15,0	44,7	24,7
59821	ES	20	43	27,6	11,8	27,9	22,2
59822	ES	20	43	27,3	9,4	32,7	30,6
ES_01	ES	29	47	29,2	16,9	30,0	22,5
	BAH	1	47	28,2	14,4	29,7	9,34
ES_02	ES	31	21	15,0	6,5	13,9	6,2
	SLB	1	-	14,5	-	20	7,3
ES_03	ES	31	32	26,0	16,3	23,8	17,1
ES_04	ES	40	66	28,8	19,23	30,6	17,4
	SLB	3	-	25,5	9,0	33,3	30,8
ES_05	ES	44	77	30,2	17,0	39,5	36,8
	SLB	5	-	27,9	17,7	38,2	15
ES_06	ES	43	35	22,2	13,3	20,8	12,5
	SLB	1	-	19,3	1,0	25,2	36,4
ES_07	ES	42	20	11,7	4,7	9,7	2,3
	SLB	2	-	5,7	0,8	5,3	5,5
ES_08	ES	25	20	12,5	4,1	13,6	10,6
ES_09	ES	25	11	11,5	2,0	9,6	4,6
ES_10	ES	25	12	9,8	2,2	11,5	7,3
ES_12	ES	25	77	36,4	21,2	39,6	50,7
ES_13	ES	25	31	20,6	13,4	12,9	6,4
ES_14	ES	25	38	15,8	9,2	9,5	4,1
ES_17	ES	25	33	19,6	8,6	22,8	21,8
ES_18	ES	25	33	18,1	8,3	20,5	18,8
ES_19	ES	25	128	42,0	19,9	61,6	94,0

¹ ES = Esche (*Fraxinus Excelsior* L.); BAH = Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.); BU = Buche (*Fagus sylvatica* L.); SLB = sonstige Laubbäume; SNB = sonstige Nadelbäume

Übersicht über die wichtigsten wachstumskundlichen Kennwerte der Untersuchungsbäume:

Bezeichnung der Untersuchungsfläche *mit Unterteilung in Felder	Baumart/ Anzahl Bäume		Alter	Baumhöhe	Kronenansatz	Brusthöhen-durchmesser	Kronenschirmfläche
	[-]	[-]	(arithm. Mittel) [J]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [cm]	(arithm. Mittel) [m ²]
ES_20	ES	24	30	17,2	10,5	11,6	2,4
	SLB	1	-	17,3	11,7	11,8	0,9
ES_21*	ES	14	57	33,6	15,9	41,1	45,8
ES_23	ES	25	8	3,8	0,5	3,6	1,0
ES_24	ES	25	57	25,8	41,3	10,3	48,9
ES_25	ES	25	34	18,9	19,8	9,1	12,1
ES_26	ES	25	74	33,6	41,1	16,8	55,7
	SLB	1	-	31,7	47,1	19,3	26,9
ES_27	ES	24	55	27,4	34,2	13,7	30,7
	BAH	1	55	26,0	30,0	12,0	33,2
ES_28	ES	20	126	33,9	60,8	18,2	64,6
	BAH	1	-	29,6	48,1	18,6	23,1
	BU	1	-	32,3	58,1	5,7	69,9
	SNB	3	-	34,4	75,8	6,9	49,4
ES_29	ES	25	90	31,1	41,2	17,9	28,1
ES_30	ES	25	25	14,1	10,8	7,2	4,2
ES_31	ES	25	25	34,6	47,1	16,5	31,3
ES_32	ES	25	94	22,1	24,3	12,0	12,5
ES_33	ES	25	36	16,9	16,9	10,0	11,6
ES_34	ES	20	144	30,4	63,9	14,6	92,6
ES_35	ES	25	16	14,6	11,7	5,0	3,6
Bergahornreinbestände							
AH_02	ES	1	14	18,7	8,7	17	5,4
	BAH	39	14	17,0	8,8	15,3	5,3
AH_03	BAH	39	35	20,6	12,6	16,5	4,3
	SLB	2	-	19,9	4,8	18,5	11,8
AH_05	BAH	25	22	15,3	6,3	10,9	6,5
AH_06	BAH	25	32	16,8	7,1	23,2	15,9
AH_07	BAH	25	35	19,8	10,4	20,7	10,0
AH_08* ohne Feld 02 – 04	ES	2	85	30,9	16,1	53,1	71,0
	BAH	13	85	28,3	9,7	56,5	70,5
AH_09* ohne Feld 02	ES	23	85	34,3	12,9	53,6	95,3
	BAH	2	85	28,1	9,6	53,5	77,0
AH_10*	BAH	24	93	18,2	7,6	23,5	21,3
	SLB	1	-	21,3	7,9	35,8	58,3
AH_11	BAH	25	81	26,1	14,5	29,7	25,1
AH_12*	BAH	12	120	32,6	14,4	48,1	50,4
	SLB	1	-	29,4	-	49,1	50,0
AH_13	BAH	25	54	30,6	15,3	33,0	24,9
AH_14	BAH	25	10	6,8	0,8	7,5	3,2
AH_15	BAH	25	40	15,5	5,8	26,1	18,8
AH_16	BAH	25	80	28,0	13,7	40,2	44,5

Übersicht über die wichtigsten wachstumskundlichen Kennwerte der Untersuchungsbäume:

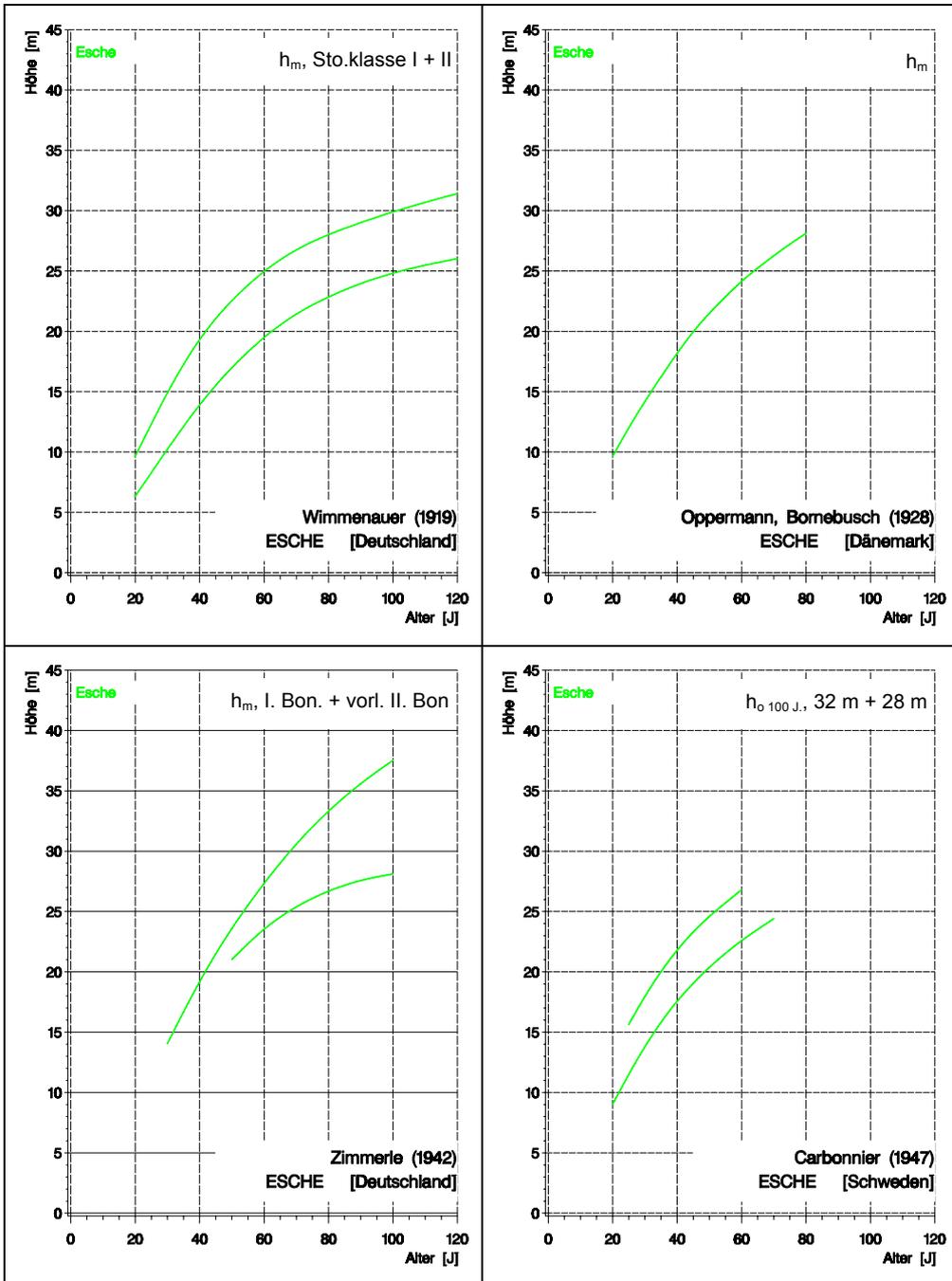
Bezeichnung der Untersuchungsfläche *mit Unterteilung in Felder	Baumart/ Anzahl Bäume		Alter	Baumhöhe	Kronenansatz	Brusthöhen-durchmesser	Kronenschirmfläche
	[-]	[-]	(arithm. Mittel) [J]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [cm]	(arithm. Mittel) [m²]
AH_17	BAH	25	116	27,3	14,5	42,0	29,1
AH_18	BAH	25	41	16,1	9,6	17,5	7,7
AH_19	ES	1	85	33,5	13,8	75,9	142,7
	BAH	17	127	29,3	12,6	54,1	67,9
AH_25	BAH	25	13	6,4	0,8	7,0	2,7
AH_26	BAH	25	38	15,3	6,4	21,7	11,2
MUELL32	BAH	45	32	19,9	10,3	17,4	7,9
MUELL44	BAH	39	44	26,5	13,0	25,1	18,8
OFF	BAH	42	63	28,9	11,0	38,7	51,6
SAECKM	BAH	36	80	25,9	12,5	35,6	26,0
SAECKW	BAH	29	80	25,8	11,7	35,5	27,9
Mischbestände							
111a*	ES	17	85	34,6	19,7	40,2	38,1
	BAH	15	67	29,1	13,4	33,4	28,0
	Bu	15	65	27,1	11,2	29,0	21,5
23b*	ES	19	107	38,1	21,9	47,7	31,9
	BAH	6	97	31,4	19,5	41,0	33,8
	BU	22	77	31,2	15,6	41,3	37,0
	SLB	4	-	-	-	-	-
34a*	ES	25	47	27,8	17,1	27,5	15,7
	BAH	13	62	27,1	13,3	29,2	20,5
	BU	10	54	28,1	11,2	27,8	21,4
ADLER1-1	ES	3	39	26,2	17,6	23,5	9,7
	BAH	3	39	25,5	13,3	30,2	21,7
ADLER1-2	ES	5	39	23,9	14,2	27,3	30,6
AH_01	ES	11	24	16,4	8,7	11,5	5,3
	BAH	19	24	16,6	10,2	12,6	5,7
AH_04	ES	6	27	17,7	5,8	18,5	16,8
	BAH	19	27	17,8	5,3	17,6	18,3
AH_08* Feld 02 – 04	ES	1	85	28,3	-	48,7	66,5
	BAH	6	85	26,4	7,6	59,7	86,1
AH_09* Feld 02	ES	2	85	31,3	14,2	56,8	99,1
	BAH	4	85	30,7	11,1	63,0	102,2
ES_11	ES	25	11	9,9	1,7	10,9	5,0
ES_15*	ES	6	45	23,6	9,9	41,7	77,1
ES_16* ohne Feld 10 bis 13	ES	20	75	30,2	12,2	60,0	123,9
ES_22*	ES	5	-	35,3	14,1	83,1	181,9
	BAH	1	-	33,2	12,2	73,8	96,5
Kenz*	BAH	14	99	27,4	10,6	53,4	71,6
L07 bis L10	ES	3	27	19,2	8,9	18,1	16,1
	BAH	12	36	22,2	12,2	22,2	14,8
	SLB	11	20	13,0	5,3	13,5	5,1

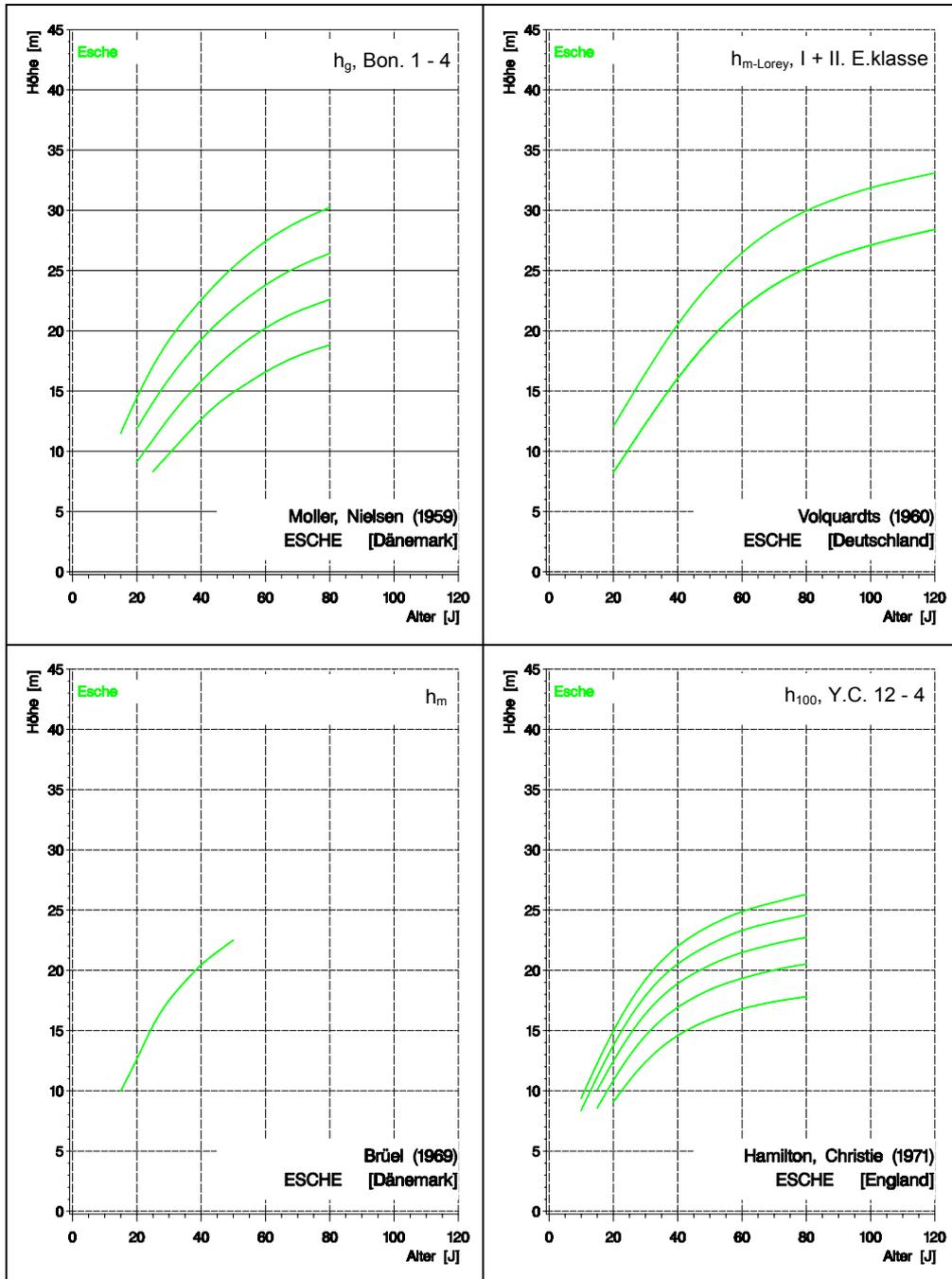
Übersicht über die wichtigsten wachstumskundlichen Kennwerte der Untersuchungsbäume:

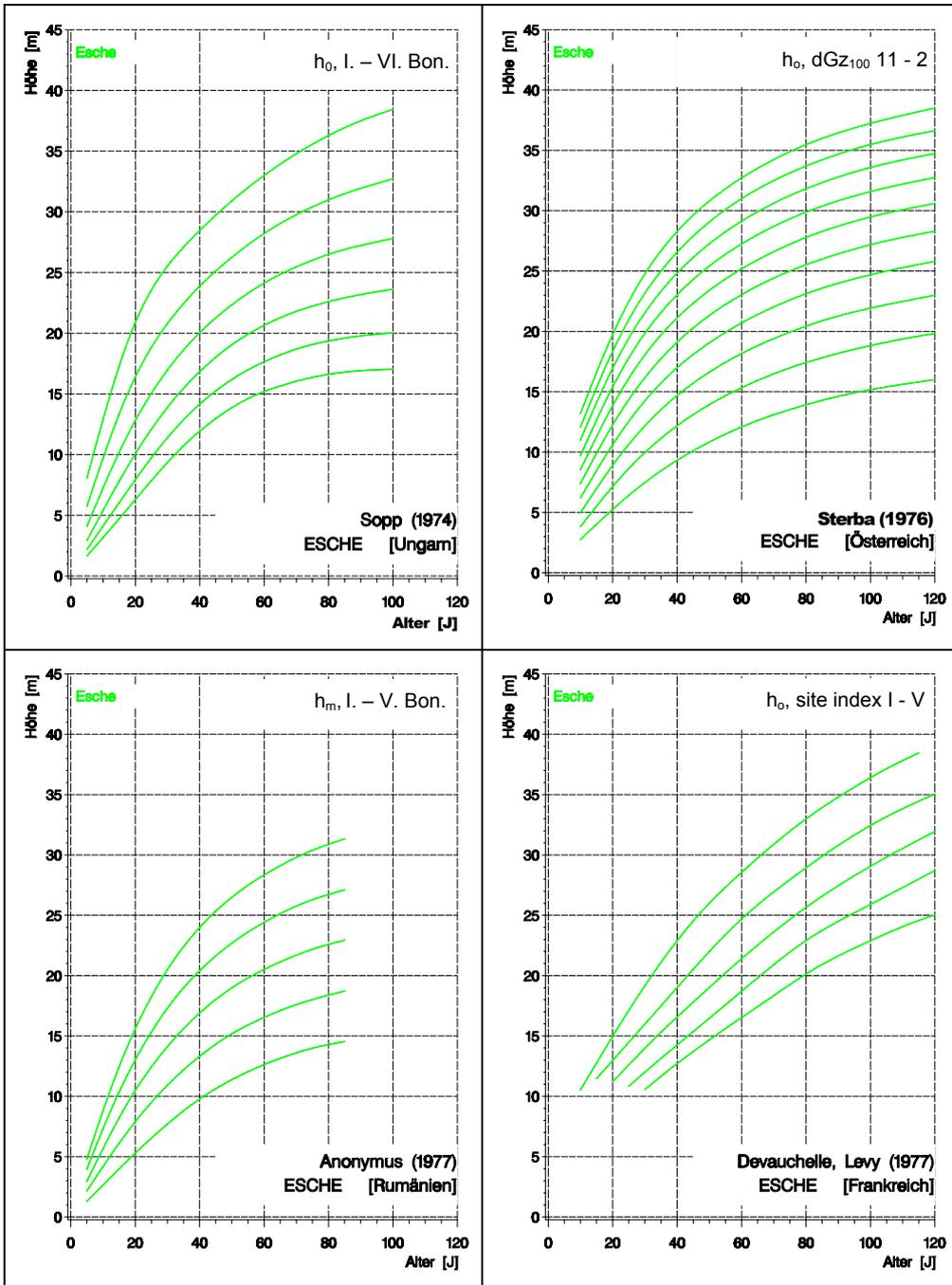
Bezeichnung der Untersuchungsfläche *mit Unterteilung in Felder	Baumart/ Anzahl Bäume		Alter	Baumhöhe	Kronenansatz	Brusthöhen-durchmesser	Kronenschirmfläche
	[-]	[-]	(arithm. Mittel) [J]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [cm]	(arithm. Mittel) [m ²]
MI_01*	ES	10	41	20,5	9,3	26,1	34,9
	BAH	13	54	18,2	8,3	24,6	21,4
	SLB	1	-	19,5	8,2	32,4	32,7
MI_02* ohne Feld 08	ES	4	128	30,6	10,2	63,8	120,3
	BAH	4	120	26,6	9,1	58,5	65,6
	SLB	1	-	30,1	14,6	61,5	84,0
MI_03* ohne Feld 02	ES	5	137	31,9	11,5	80,8	181,9
MI_04* ohne Feld 01	BAH	2	130	34,2	8,0	77,3	103,6
MI_05*	BAH	6	103	34	14,8	54,8	54,3
MI_06	ES	14	76	30,4	16,6	36,1	29,9
	BAH	11	76	27,4	11,1	31,0	21,0
MI_07*	ES	1	132	34,4	16,8	77	106,2
	BAH	3	110	26,7	9,2	59,4	55,5
MI_08	ES	11	56	24,3	12,2	28,8	26,5
	BAH	14	56	22,3	10,8	24,2	13,9
MI_09*	ES	3	90	30,9	10,4	61,6	146,1
MI_10	ES	13	32	18,1	10,1	16,2	6,7
	BAH	12	34	15,4	6,3	13,2	7,3
MI_11	ES	13	12	10,7	5,9	5,8	1,4
	BAH	12	12	12,7	5,1	9,6	3,8
MI_12*	BAH	5	151	29,8	8,3	67,0	83,7
MI_13*	ES	3	41	18,6	8,6	23,2	29,3
	BAH	3	44	19,5	7,8	28,3	30,6
MI_14*	ES	11	20	17,2	5,0	17,5	14,4
	BAH	13	20	14,7	3,5	17,8	13,0
MI_15	ES	8	16	11,4	5,4	9,8	3,5
	BAH	9	16	11,4	4,3	9,5	4,3
	BU	8	-	10,7	2,6	9,6	6,4
MI_16	ES	3	58	20,1	8,2	31,4	37,8
	BAH	22	58	18,7	7,1	28,4	25,9
MI_17	ES	14	31	13,6	5,8	20,8	21,5
	BAH	10	31	12,4	4,5	20,2	20,2
	BU	1	-	11,3	1,8	20,4	32,9
MI_18	ES	9	50	23,0	9,7	29,4	32,3
	BAH	16	50	20,1	7,0	34,0	30,6
MI_19	ES	7	125	29,8	9,3	73,0	115,6
	BAH	18	125	24,9	6,9	59,4	50,0
MI_20	BAH	22	54	18,3	6,4	46,0	56,2
	BU	3	-	18,4	4,9	49,5	64,9
MI_26*	ES	5	75	25,3	6,3	40,1	72,8
	BAH	5	75	28,2	14,0	45,8	56,4

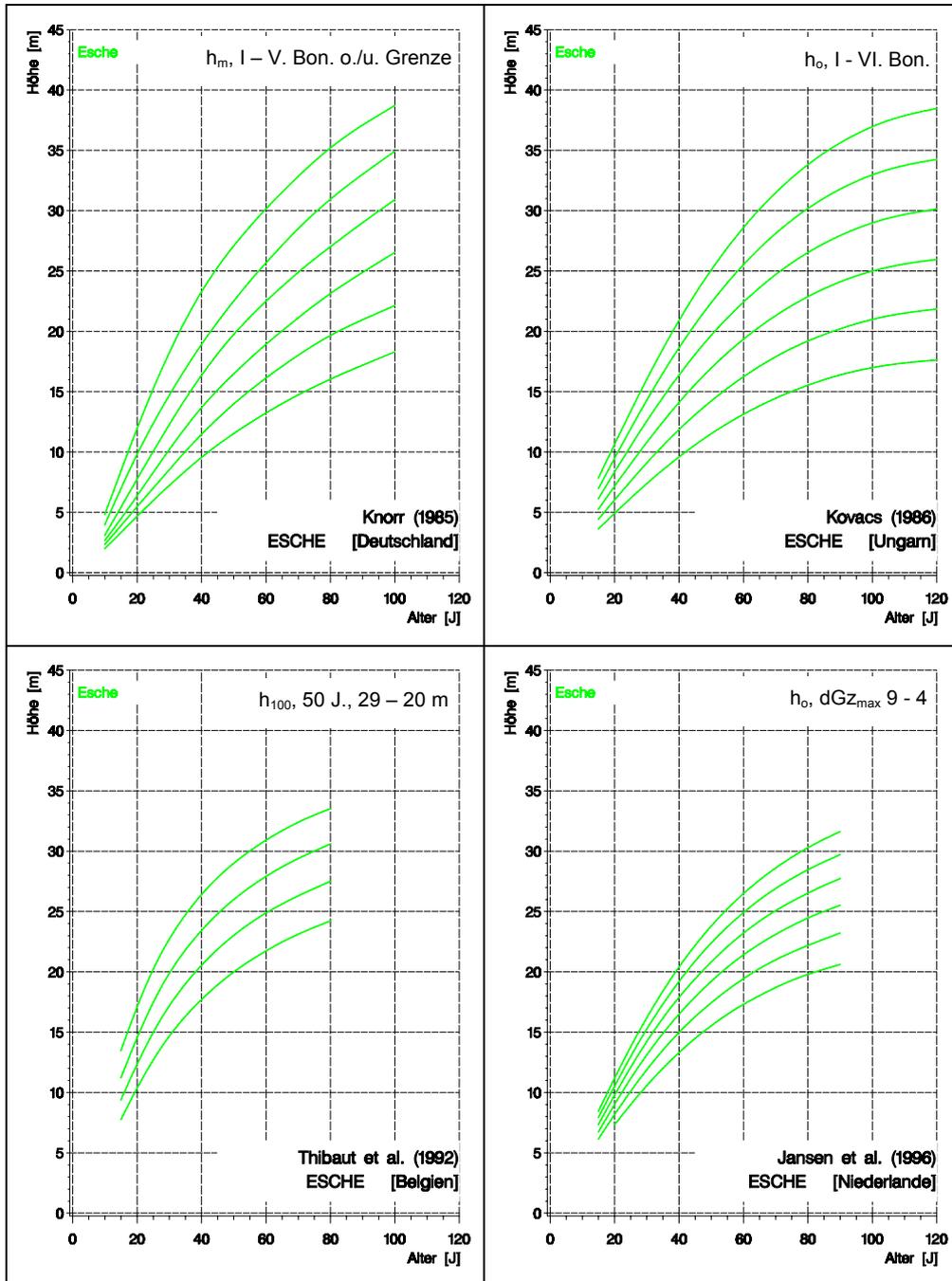
Übersicht über die wichtigsten wachstumskundlichen Kennwerte der Untersuchungsbäume:

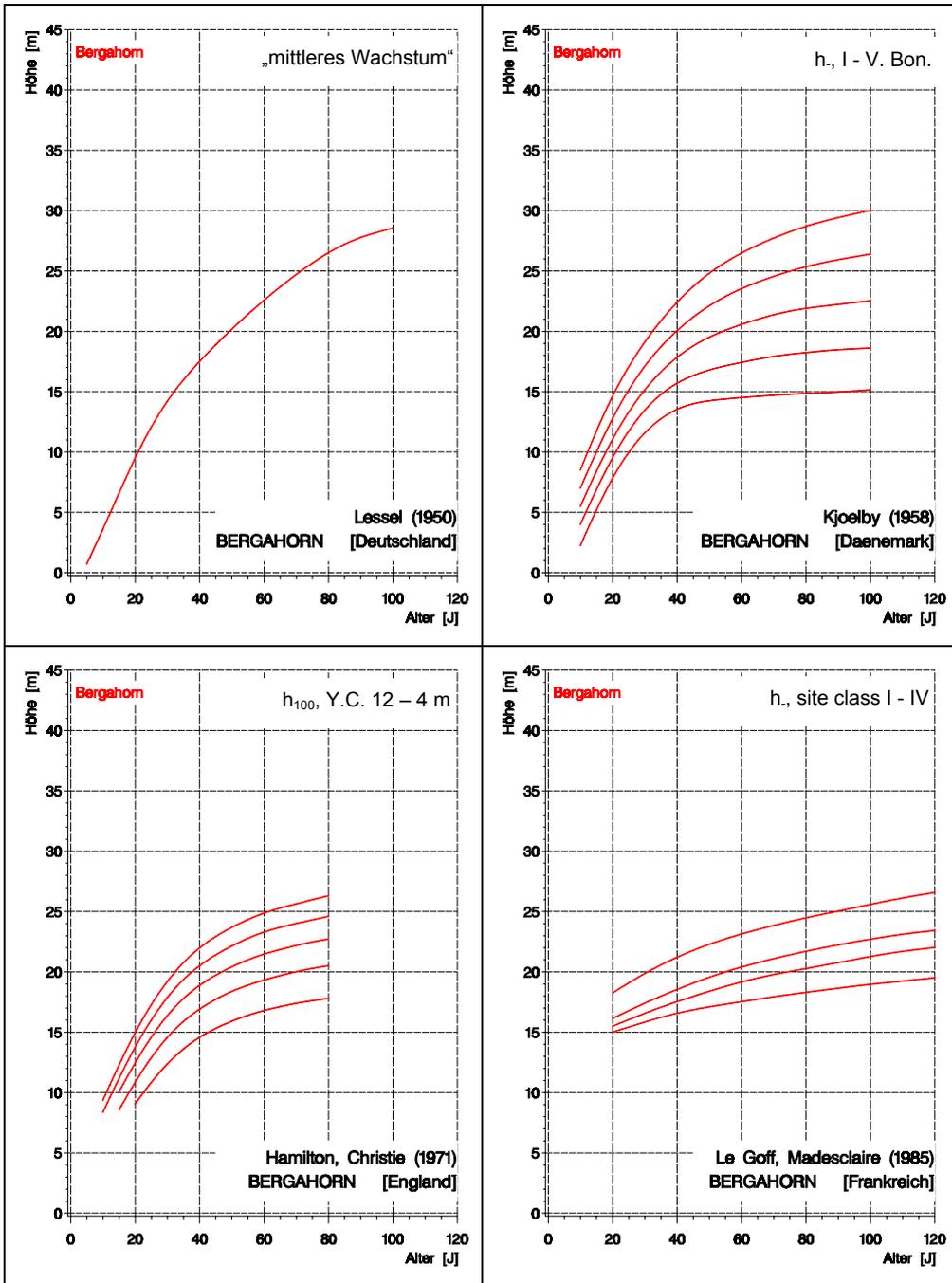
Bezeichnung der Untersuchungsfläche *mit Unterteilung in Felder	Baumart/ Anzahl Bäume		Alter	Baumhöhe	Kronenansatz	Brusthöhen-durchmesser	Kronenschirmfläche
	[-]	[-]	(arithm. Mittel) [J]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [m]	(arithm. Mittel) [cm]	(arithm. Mittel) [m²]
MI_30	ES	12	99	26,1	14,9	35,5	38,6
	BAH	1	99	25,6	13,1	39,5	43,4
	BU	12	-	26,6	12,9	40,7	39,0
MI_31	ES	5	205	31,3	14,0	74,6	103,9
	BAH	6	176	28,6	14,3	56,4	48,1
	BU	14	-	28,8	13,8	49,9	64,2
MI_32	ES	15	95	32,9	17,5	43,1	50,2
	BAH	3	95	31,2	13,6	40,6	40,3
	BU	7	-	34,8	14,8	49,2	51,4
MI_33	ES	12	52	26,0	16,3	28,8	19,5
	BAH	12	52	21,4	10,8	24,6	17,6
	BU	1	-	13,3	6,0	17,4	18,9
MI_34	ES	11	145	31,8	16,8	58,8	64,3
	BAH	1	145	23,9	8,4	41,2	41,6
	BU	11	-	26,8	7,1	47,6	63,9
	SLB	2	-	26,4	9,3	52,5	69,8
MI_35	ES	21	51	20,1	8,4	36,6	42,3
	BU	4	51	19,6	5,9	29,7	41,6
MI_36	ES	2	66	21,0	8,3	34,3	41,0
	BAH	22	66	20,3	7,3	37,6	33,7
	BU	1	-	20,4	2	30	45,7
Rh01*	ES	50	24	18,7	11,0	16,2	11,2
	BAH	38	24	18,2	10,0	14,8	8,1
Sp01*	ES	53	33	22,1	10,9	24,2	25,0
	BAH	14	33	20,7	8,8	22,4	19,5
SPEYER	ES	37	48	23,4	11,4	34,8	24,0
	BAH	27	60	23,2	9,5	39,8	20,6
Eschensolitäre							
ES_10 (2 Bäume) ES_16* mit Feld 10 bis 13 ES_23 (2 Bäume) MI_04* mit Feld 01 S_ES_01 bis S_ES_38	ES	44	11 – 169	3,4 – 30,4	0,4 – 4,9	3,6 – 145,6	0,6 – 374,7
Bergahornsolitäre							
S_AH_01 bis S_AH_33	BAH	32	5 – 162	2,3 – 23,0	0,2 – 3,1	2,0 – 132,0	0,3 – 400,3

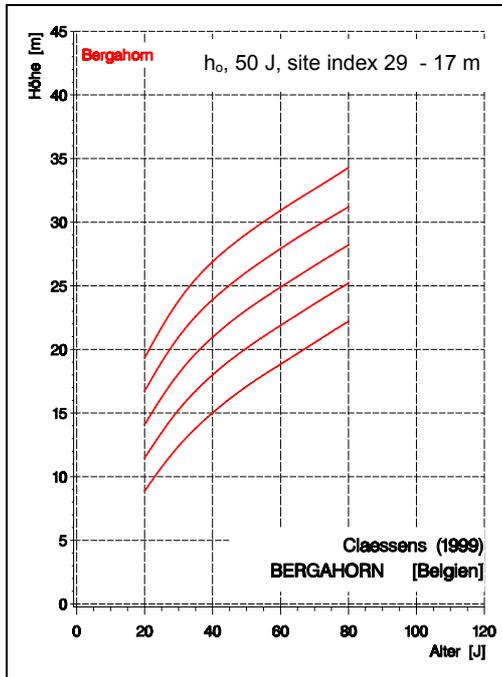












Weitere Abbildungen zum Höhenwachstum von Esche und Bergahorn:

s. Kapitel 7.1, Abbildung 7.1 und 7.2.

