

## Wachstumsreaktionen der Buche (*Fagus sylvatica* (L.)) auf Durchforstungen – 130-jährige Beobachtung des Durchforstungsversuches Elmstein 20

### Growth Reactions of Common Beech (*Fagus sylvatica* (L.)) related to Thinning – 130 Years Observation of the Thinning Experiment Elmstein 20

H. UTSCHIG und ELKE KÜSTERS

#### Zusammenfassung

Zu den Aufgaben der Waldwachstumsforschung gehört die empirische Prüfung von Auswirkungen definierter Bestandesbehandlungen auf das Waldwachstum. Deswegen ist es wichtig, dass am Ende der Umtriebszeit von langfristig beobachteten Beständen die Auswirkungen der durchgeführten Experimente auf Struktur und Wachstum untersucht werden. Darüber hinaus ist die Offenlegung von Gesetzmäßigkeiten interessant, die dann auch auf neue Fragestellungen anwendbar sind.

Der Buchen-Durchforstungsversuch Elmstein 20 zeigt die Resultate eines über 130 Jahre konsequent durchgeführten Experimentes. Der Versuch wurde im Jahre 1872 im Alter von 49 Jahren angelegt und zählt damit zu den ältesten bekannten ertragskundlichen Versuchsanlagen. Die Anlage erfolgte im Oktober 1871 in einer klassischen Dreigliederung nach A-, B- und C-Grad. Der jetzt über 180-jährige Bestand wurde 1984 durch Windwurf stark beeinträchtigt.

Die Reaktionsmuster von Einzelbaum und Bestand auf die unterschiedlichen Eingriffsstärken werden vorgestellt. Die mittlere Standortgüte erlaubt nur eine begrenzte Umsetzung des veränderten Lichtangebotes in Zuwachs. Zieldurchmesser von 60 cm in 140 Jahren werden kaum erreicht. Die Analyse der Zuwachsgänge von Einzelbäumen macht deutlich, dass die Buchen in allen Entwicklungsstadien, in der Lichtwuchsphase, der Reifephase und in der Verjüngungsphase erhebliche Durchmesserzuwächse erbringen können. Eine abschließende ökonomische Bewertung zeigt auf, dass die erhöhte Wertleistung durch die geänderte Sortimentsstruktur bei der starken Niederdurchforstung die Zuwachsverluste im Vergleich zum A-Grad zumindest kompensieren kann. Dies unterstreicht die Möglichkeiten einer konsequenten Durchforstung von Buchenbeständen. Gleichzeitig werden jedoch kritische Grenzen für die Eingriffsstärke in Buchenbeständen aufgezeigt.

**Schlüsselwörter:** Wachstumsreaktionen, Buchen-Durchforstungsversuch, langfristige Beobachtung, Durchforstungsintensität, Ökonomische Bewertung.

#### Summary

One of the main targets of forest growth and yield research is to scrutinise experience-based knowledge by means of experiments, concerning in particular the effects of thinning regimes. The long-term trial Elmstein 20, one of the first thinning experiments established in Europe, was designed more than 130 years ago. It is important to examine the biological principles behind this trial, since the results may be useful in understanding forest growth and in drawing new conclusions.

The long-term experimental plot Elmstein 20 is one of a set of plots managed by the chair of Forest Growth and Yield of the Technische Universität München. In a 49-year-old beech stand, a thinning experiment was carried out. There were three thinning categories: grade A (without thinning), grade B (moderate thinning) and grade C (heavy thinning). The stand reached an age of 180 years. In 1984, the plot area was damaged by storm.

The experimental results show the significant effects of the long-term thinning concept with regard to the growth pattern reactions of both individual trees and the stand. There were notable differences in crown dimensions according to the different thinning grades. Surprisingly, varying growth rates were recorded only within a small corridor. It is nearly impossible to reach the target diameter of 60 cm within a rotation time of 140 years. The medium soil conditions appeared to restrict the growth reactions after thinning.

The analysis of growth rates showed that the diameters of single trees increased throughout the entire survey, during selective thinning as well as during increment felling or in the last decade without

thinning. The final economic evaluation shows the effects of the applied thinning regimes quite clearly. The higher added value due to the more valuable timber assortments from heavily thinned stands more or less compensates the higher amount of compact wood produced in moderately thinned stands. These results show that it is very useful to apply a strict thinning regime in beech stands. At the same time, critical cutoff points for the thinning grade in beech stands are indicated.

**Keywords:** Growth reactions, thinning experiment, long-term observation, thinning grade, economy of thinning.

## 1 Einleitung

Die Waldwachstumsforschung hat sich auf die empirische Prüfung von Auswirkungen definierter Bestandesbehandlungen auf das Waldwachstum spezialisiert. Neu auftauchende Fragen werden durch die entsprechende Auswertung bestehender oder die Anlage neuer Versuche aufgegriffen und bearbeitet. Im Rahmen des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten wurden und werden von der Sektion Ertragskunde koordinierte Versuchsanlagen zur Klärung definierter Fragestellungen initiiert. Hierzu gehört beispielsweise der IUFRO-Fichten-Standraumversuch (ABETZ 1977) der derzeit gemeinsam ausgewertet wird und der Koordinierte Douglasien-Standraumversuch (ABETZ 1971).

In diesem Beitrag wird ein Versuch vorgestellt, der vor mehr als 130 Jahren auf der Grundlage von Absprachen im Verband Forstlicher Versuchs- und Forschungsanstalten konzipiert wurde. Eine Vielzahl dieser Versuche stellen die Basis, also den Beginn der zielgerichteten waldwachstumskundlichen Forschung dar. Deswegen ist es wichtig, dass am Ende der Umtriebszeit solcher Bestände die Auswirkungen der durchgeführten Experimente auf Struktur und Wachstum untersucht werden. Wegen der Langlebigkeit der Waldbestände darf die Waldwachstumsforschung die Qualität der Versuchsergebnisse dabei nicht nur aus der Sicht der Soll-Ist-Aussagen (PRETZSCH, UTSCHIG, BACHMANN 2002) betrachten. Die Untersuchung darf sich also nicht nur auf die Frage beschränken, ob uns das damals angewendete Behandlungsprogramm heute noch interessiert. Vielmehr sind die Gesetzmäßigkeiten von Interesse, die den Ergebnissen der Versuchsbeobachtungen zugrunde liegen. Damit dient die Versuchsbeobachtung, unabhängig vom Zeitgeist, der systematischen Verdichtung verallgemeinerbarer Erkenntnisse, die dann auch auf neue Fragestellungen anwendbar sind (PRETZSCH et al. 2002).

## 2 Versuchsbeschreibung

Das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern betreut aus der Tradition heraus immer noch Versuchsanlagen in den ehemals bayerischen Teilen von Rheinland Pfalz. Eine waldwachstumskundliche Besonderheit stellt der Buchen-Durchforstungsversuch Elmstein 20 dar. Er wurde im Jahre 1872 im Alter von 49 Jahren angelegt und zählt damit zu den ältesten bekannten ertragskundlichen Versuchsanlagen. Da der jetzt über 180-jährige Bestand 1984 durch Windwurf stark beeinträchtigt wurde, ist in Abstimmung mit dem Forstamt Johanniskreuz und der Forstlichen Versuchsanstalt in Trippstadt die Aufgabe des Versuches beschlossen worden. Vor der Aufgabe wurde eine abschließende Auswertung vereinbart.

### 2.1 Geschichte des Versuches Elmstein 20

Die Auswahl des Versuches Elmstein 20 erfolgte im Zuge der ersten systematischen Versuchsanlagen der gerade etablierten Forstlichen Versuchsanstalten. Mit diesen Versuchsanlagen in typischen Reinbeständen sollte der Einfluss verschiedener Durchforstungsarten, -stärken und -turni auf Wachstum und Struktur der Bestände erfasst werden und die Ergebnisse als Datenbasis für Ertrags- und Massentafeln dienen (DVFFA 1873).

Die Anlage erfolgte im Oktober 1871 in einer klassischen Dreigliederung nach A-, B- und C-Grad. Die Eingriffsstärken wurden nach dem Angaben des Arbeitsplanes des Deutschen Verbandes Forstlicher Versuchs- und Forschungsanstalten ausgeführt (DVFFA 1873), der zunächst nur eine Durchforstung nach den sozialen Baumklassen vorsah. Als Resultat aus über 30-jähriger Erfahrung mit der koordinierten Steuerung von Versuchen wurde der Arbeitsplan 1902 geändert, indem die Durchforstungsgrade um Qualitätskriterien erweitert wurden (DVFFA 1902). Grundlage für die Durchforstungsanweisung ist seit dieser Zeit eine kombinierte Baum- und Schaftgüteklasseneinteilung (ASSMANN 1961).

## 2.2 Lage, Standort und Entstehung

Die Versuchsfläche liegt im Pfälzer Wald, im Bereich des ehemaligen Forstamtes Elmstein, in einer Höhenlage von ca. 400 m ü. NN. Das Klima ist subatlantisch geprägt. Der Jahresniederschlag beträgt 700–850 mm, die Jahresmitteltemperatur liegt zwischen 7 und 8 °C, in der Vegetationszeit zwischen 14 und 15 °C. Die Fläche ist auf einem NO geneigten Hang angelegt. Parzelle 1 (A-Grad) liegt am Oberhang, Parzellen 2 und 3 (B-, bzw. C-Grad) am Unterhang (Abbildung 1). Die Böden entstanden aus Buntsandstein, die Bodenart ist ein schwach lehmiger, humoser Sand mit Steinbeimengung.

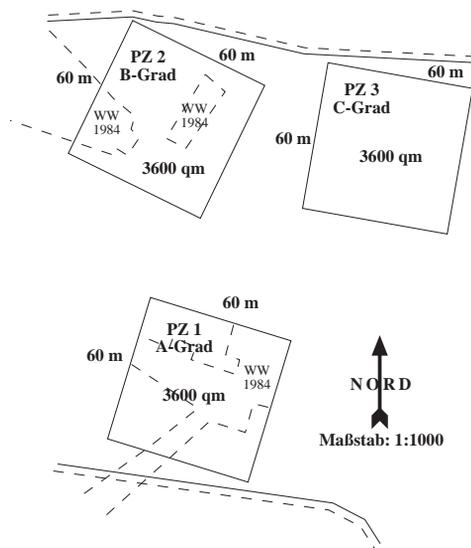


Abb.1: Lageplan der Versuchspartellen, gestrichelt eingezeichnet sind die Windwurfschäden vom Herbst 1984.

Fig. 1: Lay-out of the long term experimental plot Elmstein 20. The disturbance area caused by storm damage is shown within the dotted lines.

Der Bestand ist 1822 aus Naturverjüngung entstanden. Bis 1871 waren noch zahlreiche Hainbuchen, Kiefern, Weiden, Birken, Aspen und Eichen beigemischt. Der A-Grad weist eine bessere Wuchsleistung als der B- und C-Grad auf, da auf dem Plateau die Bodenverhältnisse etwas günstiger sind.

## 2.3 Entwicklung der Versuchspartellen

### Flächenzustand 1900:

Der A-Grad wird als schön und wüchsig mit geschlossenem Kronendach beschrieben. Auf dem B-Grad beeinflusst ein Eichen-Überhälter, der erst 1959 gefällt wurde, die Be-

standesentwicklung. Die Durchforstungen des C-Grades führten dazu, dass viele Kronen belichtet sind und die Bäume freistehen. Der Bestand ist damals bereits so stammzahlarm, dass laut Versuchsakte „die Gewinnung von Probestämmen zur Massenermittlung sich in Zukunft schwierig gestalten wird“.

#### *Flächenzustand 1930/36:*

Der A-Grad ist weiterhin dicht geschlossen, stammzahlreich, hat schmale eingeengte Kronen und viele schlechtgeformte Stämme. Der Unterstand ist im Jahr 1930 ausgefallen (abgedorrt oder gefrevelt) und es sind viele Vorwüchse zu erkennen. Die Bonität ist phasenweise etwas besser als beim B- und C-Grad. Als mäßig guter Bestand stellt sich der B-Grad dar. Das Kronendach ist mittel geschlossen, der Bestand weist viele nur mitherrschende Bäume mit eingeklemmten Kronen auf. Die herrschenden Bäume sind vielfach grobstig und schlecht geformt. Hingegen wird festgestellt, dass der C-Grad einen schlechten Gesamteindruck macht. Er ist lückig und auf der Fläche stehen viele nur schwach mitherrschende Stämme. Die Kronen der herrschenden Stämme sind gut ausgeformt und voll entwickelt, deren Verteilung auf der Fläche jedoch ungünstig.

#### *Nach dem zweiten Weltkrieg:*

Der Versuch macht immer noch einen passablen Eindruck. Die Bestrebungen des Forstamtes, die Fläche zu verjüngen wurden seit 1970 erfolgreich abgewendet. Die Grundflächenstaffelung war immer noch deutlich zu erkennen. Insgesamt fällt die Versuchsfläche Elmstein 20 durch ein besonders niedriges Ertragsniveau bei nicht einmal so schlechter Oberhöhenbonität auf (KENNEL 1972). 1978 wird der Rotkernanteil noch als unbedeutend angesprochen. Ein Sturm am 22.11.1984 hatte besonders den A-Grad (Parzelle 1) und Teile des B-Grades (Parzelle 2) geschädigt. Auf dem C-Grad sind nur wenige Bäume ausgefallen.

Die letzte ertragskundliche Vollaufnahme erfolgte im Herbst des Jahres 2002. Dabei wurden alle noch verbleibenden Bäume mit Bhd, Höhe und Kronenausdehnung erfasst. Nach Abschluss der Auswertungen wird der Versuch aufgegeben.

### **3 Ertragskundliche Basisdaten**

Für den Versuch liegen insgesamt 16 ertragskundliche Aufnahmen vor. Die hieraus berechneten Kenndaten der flächenbezogenen Auswertung sind in Anhang 1 niedergelegt. Zu beachten ist, dass zu Versuchsbeginn die Durchforstung vor der Versuchsaufnahme erfolgte. Angaben zur Stärke des Eingriffes liegen nur sehr pauschal vor und wurden nicht in Anhang 1 übernommen. Hier sollen nur zwei wichtige waldwachstumskundliche Kenngrößen aus Anhang 1 besprochen werden.

Die Höhenentwicklung verläuft auf den Parzellen trotz der unterschiedlichen Hangpositionen recht ähnlich (Abbildung 2). Insgesamt liegt die Höhenwuchsleistung zwischen der I. und II. Bonität der Ertragstafel SCHOBER (1967, mäßige Durchforstung), die die Altershöhenentwicklung in Elmstein gut beschreibt. Zur Vermeidung von Sprüngen, die durch Messfehler bedingt sind, wurden die Koeffizienten der einzelnen Höhenkurven im Anhalt an die DESER-Norm (JOHANN 1993) ausgeglichen. Die mittlere Leistungsfähigkeit des Standortes wird durch die Höhenwachstumskurve gut abgebildet.

Die Stammgrundflächen (Abbildung 3) weisen auf dem A-Grad aufgrund der fehlenden Durchforstungen deutlich höhere Werte auf als die Ertragstafel von SCHOBER (1967) für die mäßige Durchforstung. Während die unbehandelte Parzelle einen kontinuierlichen Anstieg der Grundfläche mit einem Höchstwert von 45 qm/ha im Alter von ca. 155 Jahren zeigt, liegen die Grundflächen der behandelten Parzellen über größere Zeitspannen um ca. 30% (B-Grad), bzw. 60% (C-Grad) darunter. Diese Werte kennzeichnen deutlich

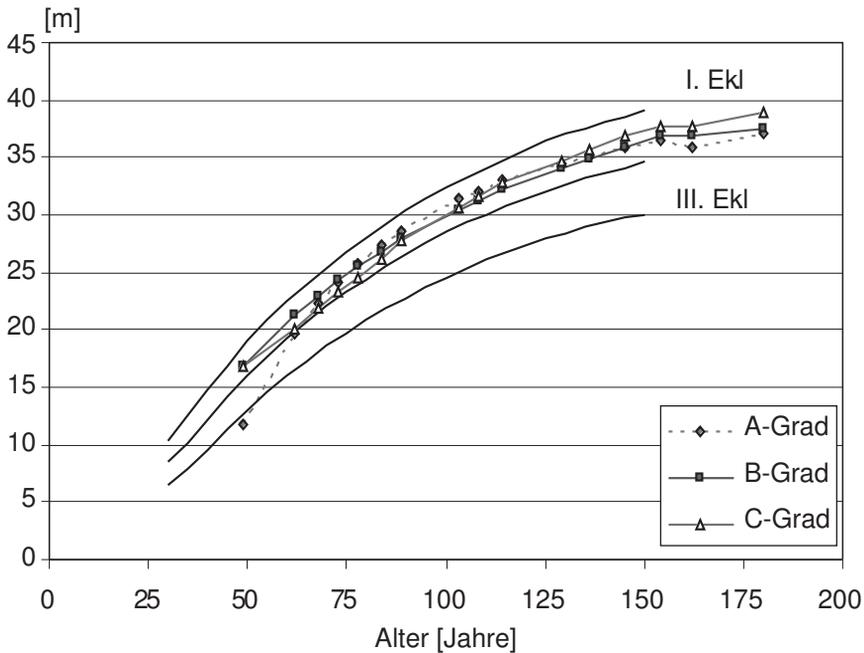


Abb. 2: Höhenentwicklung auf der Versuchsfläche Elmstein 20 des A-Grades (Parzelle 1), des B-Grades (Parzelle 2) und des C-Grades (Parzelle 3) im Vergleich zur Ertragstafel SCHOBER (1967) für den gesamten Beobachtungszeitraum von 1871 bis 2002.

Fig. 2: Development of the mean height on the long-term experimental plot Elmstein 20 to different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad = moderate thinning from below, C-Grad = heavy thinning from below) as a function of age compared to the beech yield table of SCHOBER (1967), low thinning. I. – III, survey period 1871 to 2002.

die Intensität der durchgeführten Durchforstung. An der Grundflächenentwicklung in den durchforsteten Parzellen werden neben der reinen Steuerung durch die Durchforstungsgrade auch die typischen Durchforstungsphasen in einem Buchenbestand im Anhalt an SCHÄDELIN (1942) deutlich. In der Auslesephase zwischen 50 bis 75 Jahren ist die Eingriffsstärke schwächer, in der anschließenden Lichtwuchsphase, dem jeweiligen Durchforstungsgrad entsprechend, jedoch stärker ausgeprägt. Die Höhe der „Sägezähne“ in Abbildung 3 beschreibt die Stärke der Eingriffe. Bemerkenswert sind die starken Anstiege der Grundfläche nach erfolgter Durchforstung, obwohl das Ertragsniveau des untersuchten Standortes als insgesamt relativ gering eingeschätzt wird (KENNEL 1972).

Wie aus Abbildung 3 klar hervorgeht, unterscheiden sich die Durchforstungen in ihrer Eingriffsstärke deutlich. Die Wirkung der Durchforstung kann auf Bestandesebene oder auf Einzelbaumbene diskutiert werden.

## 4 Ergebnisse der einzelbaumbezogenen Auswertung

### 4.1 Kronendimensionen

Die Größe der Kronenradien und der Kronengrundflächen ist ein brauchbarer Hinweis auf die langfristige Wirkung des jeweiligen Standraum- und Lichtangebotes auf die Produktion in den Beständen.

Werden die Kronenradien für die einzelnen Parzellen mit einer logarithmischen Funktion ausgeglichen, so ergeben sich für die einzelnen Parzellen charakteristische Kurvenver-

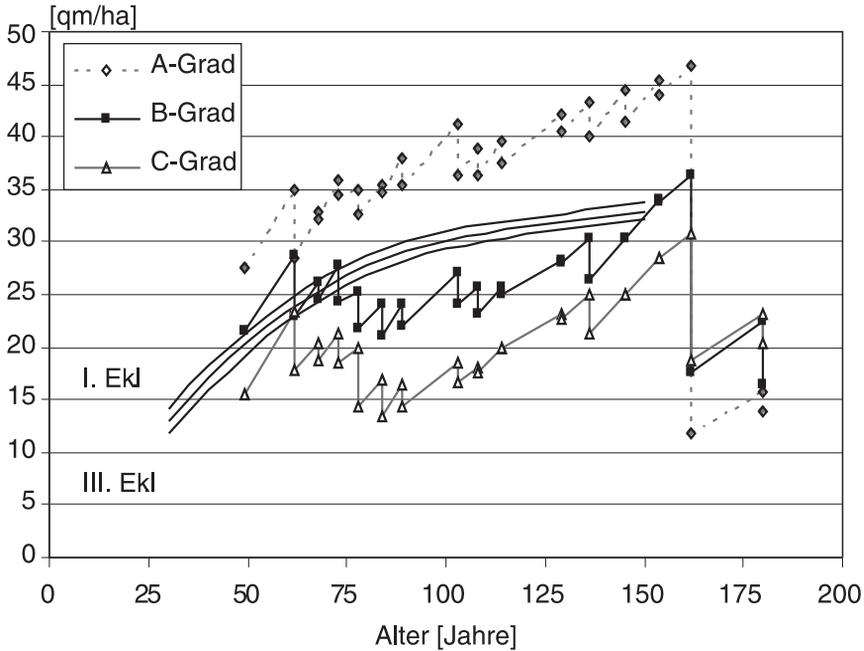


Abb. 3: Grundflächenentwicklung auf der Versuchsfläche Elmstein 20 des A-Grades (Parzelle 1), des B-Grades (Parzelle 2) und des C-Grades (Parzelle 3) im Vergleich zur Ertragstafel SCHÖBER (1967) für den gesamten Beobachtungszeitraum von 1871 bis 2002.

Fig. 3: Development of the basal area on the long-term experimental plot Elmstein 20 influenced by different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad = moderate thinning from below, C-Grad = heavy thinning from below), as a function of age compared to the beech yield table of SCHÖBER (1967), low thinning, I. – III, survey period 1871 to 2002.

läufe (Abbildung 4, links). Auf der A-Grad-Parzelle sind die Kronenradien bei gleichem Brusthöhendurchmesser (Bhd) deutlich kleiner als auf den anders behandelten Parzellen. Hat auf der unbehandelten Parzelle ein Baum mit 60 cm Bhd eine Krone mit einem mittleren Radius von 4,2 m, so steigt der Kronenradius beim C-Grad auf 5,8 m an. Dieser Unterschied wird noch deutlicher, wenn statt des Kronenradius die Kronengrundflächen bei gleichem Bhd verglichen werden (Abbildung 4, rechts). Ein Baum mit einem Bhd von 60 cm hat im A-Grad eine Kronengrundfläche von knapp 60 m<sup>2</sup>, während er im C-Grad bei gleichem Bhd bereits 100 m<sup>2</sup> erreicht. Dieses Beispiel zeigt eindrucksvoll, dass die Kronen der Einzelbäume deutlich auf das unterschiedliche Durchforstungsregime reagiert haben und eine unterschiedliche Standraumökonomie aufweisen.

#### 4.2 Entwicklung des Durchmesserzuwachses

Bei der Beurteilung der Produktivität von Einzelbäumen stellt sich die Frage, was Bäume mit unterschiedlichen Kronengrößen zu leisten vermögen. Abbildung 5 zeigt auf der linken Seite die Verteilung des jährlichen Durchmesserzuwachses der Einzelbäume nach Behandlungsgraden. Erwartungsgemäß sind die Mittelwerte im A-Grad niedriger, im B- und C-Grad steigen die Durchmesserzuwächse der Einzelbäume an. Werden jedoch die Durchmesserzuwächse der im Jahr 1985 20 stärksten Stämme/ha zwischen den Behandlungsvarianten verglichen (Abbildung 5, rechts), so ergeben sich keine statistisch gesicher-

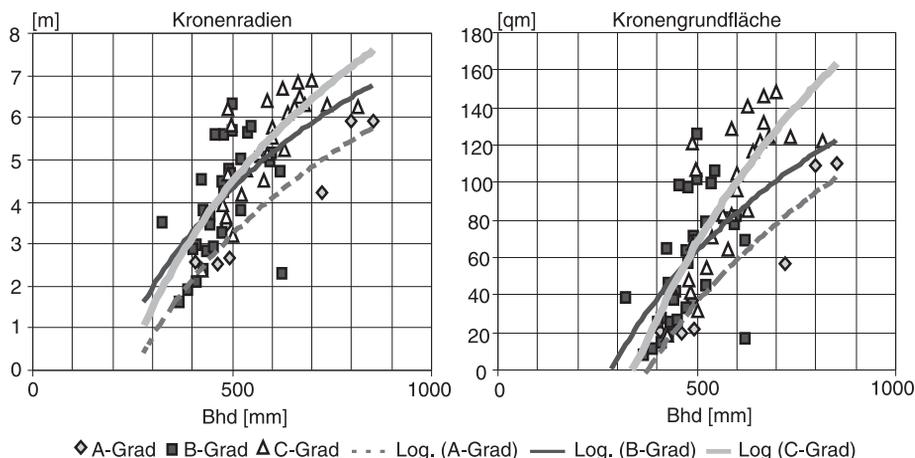


Abb. 4: Kronenradien (links) und Kronengrundflächen (rechts) der im Jahr 2001 noch auf den Parzellen verbliebenen Altbäume des A-Grades (Parzelle 1), des B-Grades (Parzelle 2) und des C-Grades (Parzelle 3). Ausgleich der unterschiedlichen Durchforstungsstärken mit einer logarithmischen Funktion, die Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) für den Ausgleich der Kronenradien liegen bei 0,6183 (A-Grad), 0,3026 (B-Grad) und 0,9014 (C-Grad), für die Kronengrundfläche bei 0,8728 (A-Grad), 0,2877 (B-Grad) und 0,612 (C-Grad).

Fig. 4: Crown radii (left) and crown projection area (right) in dependence on diameter at breast height (Bhd) in dependence of thinning intensity at the long-term trial Elmstein 20. Logarithmic regression is used to differentiate between the different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad = moderate thinning from below, C-Grad = heavy thinning from below). The R-square values for the crown radii range between 0,6183 (A-Grad), 0,3026 (B-Grad) and 0,9014 (C-Grad) and for the crown projection area 0,8728 (A-Grad), 0,2877 (B-Grad) and 0,612 (C-Grad).

ten Unterschiede im Durchmesserzuwachs. Die vorherrschenden Bäume auf der A-Grad-Parzelle können durch höhere Effizienz den Standraumvorteil der Bäume der C-Grad-Parzelle, die bei gleichem Bhd eine größere Krone haben, offenbar gut ausgleichen.

Noch tiefere Einblicke ermöglicht die Betrachtung der Durchmesserzuwächse bei unterschiedlichen Ausgangsdurchmessern während einer Aufnahmeperiode. Der Ausgleich der Zuwächse erfolgte mit Hilfe einer quadratischen Funktion (Formel 1).

$$id = a + b \cdot Bhd + c \cdot Bhd^2 \quad (1)$$

wobei:

- id = Durchmesserzuwachs
- Bhd = Brusthöhendurchmesser
- a = Konstante
- b = Steigungsparameter
- c = Krümmungsparameter

Abbildung 6, links, zeigt beispielhaft die Zuwachsverhältnisse in Abhängigkeit vom Bhd für die Periode 1926–1930. Der C-Grad befindet sich hier noch in der Lichtwuchsphase. Im A-Grad ist der Verlauf des Ausgleichskurve nahezu linear, im C-Grad ist der Krümmungsparameter c positiv. Das bedeutet, dass im schwächeren und stärkeren Durchmesserbereich der Durchmesserzuwachs höher ist, als bei einem linearen Verlauf zu erwarten gewesen wäre. Die stärksten Stämme und die Unterständer profitieren von dem erhöhten Lichtgenuss deutlich mehr als Bäume im mittleren Durchmesserbereich, wo die Zuwachswerte zwischen A- und C-Grad identisch sind. Im Zeitabschnitt 1968 bis 1976 (Abbildung 6, rechts), in der Reifephase, liegen die Verhältnisse anders. Der Verlauf der Zuwachskurve

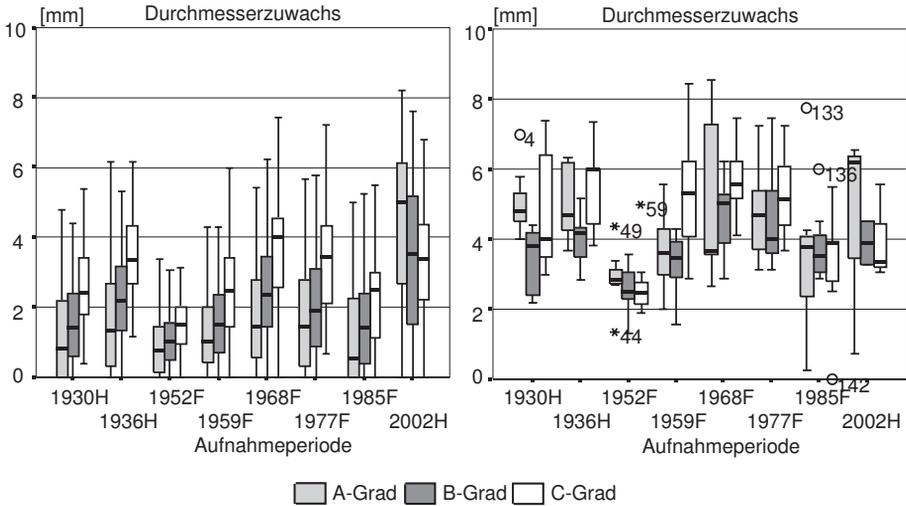


Abb. 5: Mittlerer jährlicher Durchmesserzuwachs aller Bäume (links) und der 20 stärksten Bäume/ha (rechts) für die einzelnen Aufnahmeperioden seit dem Jahr 1926 für den A-Grad (Parzelle 1), B-Grad (Parzelle 2) und C-Grad (Parzelle 3). F und H markieren die Aufnahmezeitpunkte Frühjahr und Herbst. Die Darstellung erfolgt als Boxplot, in der Box befinden sich 50% der Messpunkte, der Querstrich zeigt den Median, die Spannweite des Plots umfasst 95% der Messwerte.

Fig. 5: Mean annual diameter increment of all trees (left) and of the 20 trees with the largest diameter per hectare of the long-term experimental plot Elmstein 20 influenced by different thinning intensities A-Grad = without thinning (plot 1), B-Grad=moderate thinning from below (plot 2), C-Grad=heavy thinning from below (plot 3) for the different periods of survey. The results are described as boxplots, they show the median, interquartile range, outliers (circles), and extreme values (stars) of individual variables.

beim C-Grad ist nahezu linear geworden. Gut erkennbar ist beim C-Grad die größere Steigung der Kurve mit zunehmendem Durchmesser. Hier zeigt sich die Überlegenheit der größeren Krone und der geringeren Konkurrenzverhältnisse im C-Grad. Weder in der Auslese- noch in der Lichtwuchsphase war dieser Leistungsvorsprung so deutlich ausgeprägt.

### 4.3 Entwicklung von Einzelbäumen

An einigen im Jahr 2002 noch vorhandenen Bäumen konnten Bohrkerne für Zuwachsanalysen genommen werden. Die Verläufe der Jahrringkurven sollen beispielhaft die Reaktionsmuster in den Beständen aufzeigen.

Abbildung 7 zeigt auf der linken Seite die Durchmesserwachstumskurve von 2 Probebäumen des A-Grades, die den Zieldurchmesser von 60 cm erreicht haben. Auf der rechten Seite sind die Jahrringkurven dieser Bäume dargestellt. Die Entwicklungsgeschichte ist sehr unterschiedlich. Baum 241 gehörte zu Beginn der Untersuchung zum wuchskräftigen Teil des Baumkollektives, er konnte Jahrringbreiten im Bereich von 2,5 mm bilden. Im Laufe der Beobachtung knickt die Wachstumskurve ab, die mittlere Jahrringbreite sinkt auf ein Niveau von 1,5 mm/Jahr ab. Baum 191 verhält sich anders, die Wachstumskurve hat einen nahezu linearen Verlauf mit einer Steigung, die einer mittleren Jahrringbreite von 2 mm entspricht. Trotz erheblicher Unterschiede im Ausgangsdurchmesser erreichen beide Bäume im Alter von ca. 160 Jahren einen Bhd von 60 cm. Auffällig ist, dass über mehr als 100 Jahre die maximale Jahrringbreite unter 2,5 mm liegt. Nach dem Sturmereignis

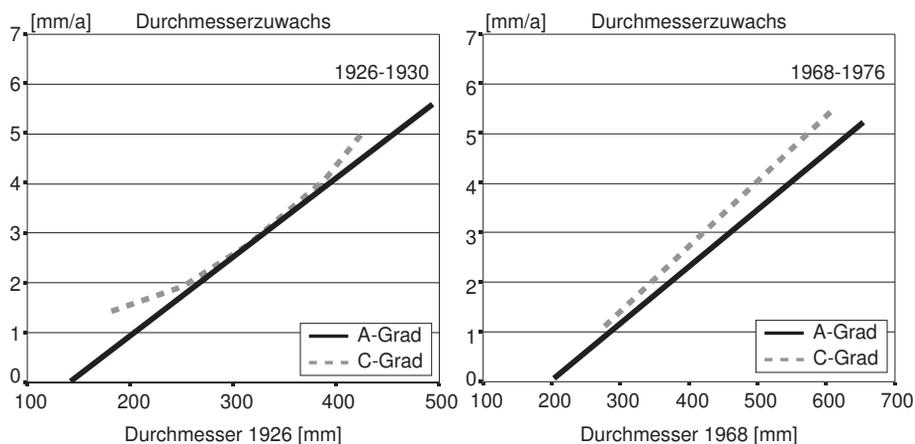


Abb. 6: Entwicklung des Durchmesserzuwachses über dem Ausgangsdurchmesser in den Beobachtungsperioden 1926–1930 (links) und 1968–1976 (rechts) für den A- und C-Grad. Dargestellt sind die mit der Formel (1) hergeleiteten Schätzwerte für die Einzelbäume.

Fig. 6: Long-term trial Elmstein 20: Current annual diameter increment of trees in relation to the diameter in breast height of 1926 (left) and 1968 (right) for different thinning intensities (A-Grad = without thinning, C-Grad=heavy thinning from below). The basis for the equation was formula (1).

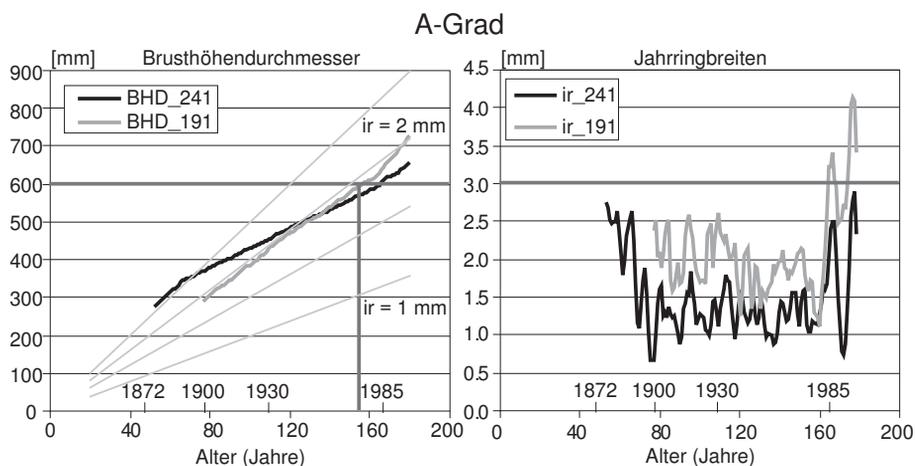


Abb. 7: Bohrkernanalyse von zwei Probestämmen (Baum Nummer 241 und 191) aus dem A-Grad. Dargestellt sind die Durchmesserwachstumskurven (links) und die Jahrringbreiten (rechts) über dem gesamten gebohrten Wachstumszeitraum.

Fig. 7: Long-term trial Elmstein 20: Results from a increment boring core analysis (tree number 241 und 191) from plot 1 A-Grad (without thinning). The growth curves (left) and the increment curves (right) are shown.

nis im Jahr 1985 schnellen jedoch bei beiden Bäumen die Jahrringbreiten in die Höhe, Spitzenwerte bis zu 4 mm/Jahr werden erreicht.

Im C-Grad wurden drei Bäume untersucht, die zu Versuchsbeginn als vorherrschender Baum (Nr. 66) bzw. herrschende Bäume (Nr. 51 und Nr. 99) beschrieben werden können (Abbildung 8). Die Wachstumskurven verlaufen relativ gestreckt, der vorherrschende

Baum erreicht bereits im Alter von 130 Jahren 60 cm Bhd, der herrschende Baum Nr. 51 etwa 30 Jahre später, im Alter von 171 Jahren. 10 Jahre später haben sich die Durchmesser dieser beiden Bäume jedoch deutlich angenähert, niedrige Zuwächse beim vorherrschenden Baum und hohe Zuwächse beim herrschenden Baum Nr. 51 haben sich ausgewirkt. Die maximalen Jahrringbreiten dieser beiden Bäume liegen etwa 0,5 mm über dem Niveau der A-Grad-Bäume. Die absoluten Schwankungen sind stärker ausgebildet. Minimumjahre sind deutlich zu erkennen. Die Wachstumskurve von Baum Nr. 99 liegt zunächst nahe an der von Baum Nr. 51, die Jahrringbreiten erreichen im Maximum jedoch nur selten 2 mm, die Durchmesserentwicklung fällt deutlich hinter die der anderen beiden Probestämme zurück. Ab dem Alter von etwa 90 Jahren fällt die Jahrringbreite sogar auf Werte unter 1 mm. Im Alter von 171 Jahren wird ein Bhd von 49 cm erreicht. Auffällig ist, dass nach dem Sturmereignis von 1985 die Jahrringbreiten von Baum Nr. 99 auf bis zu 3 mm/Jahr in die Höhe schnellen. Der Anstieg verläuft sehr steil, der Baum hat auf die veränderten Licht- und Konkurrenzbedingungen sofort mit einem verstärktem Zuwachs reagiert.

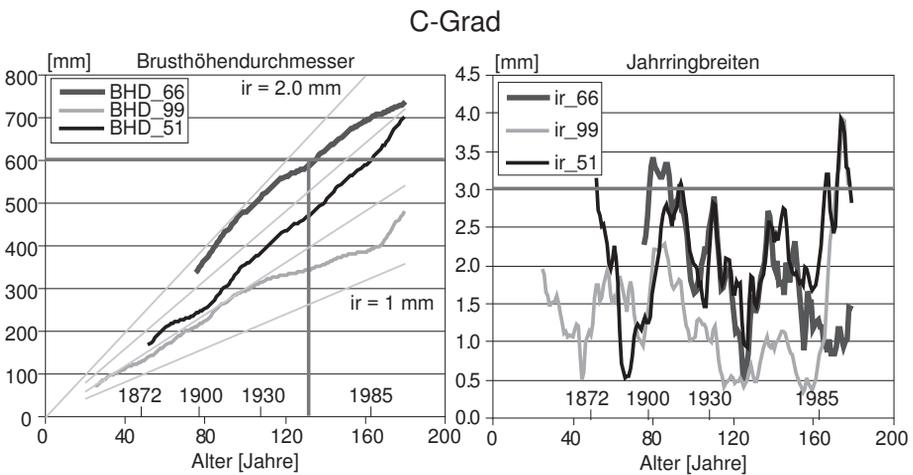


Abb. 8: Bohrkernanalyse von drei Probestämme aus dem C-Grad (Baum Nummer 66, 99 und 51). Dargestellt sind die Durchmesserwachstumskurven (links) und die Jahrringbreiten (rechts) über dem gesamten gebohrten Wachstumszeitraum.

Fig. 8: Long-term trial Elmstein 20: Results from a increment boring core analysis (tree number 66, 99 and 51) from plot 3 C-Grad (heavy thinning from below). The growth curves (left) and the increment curves (right) are shown.

### 5 Quantifizierung der Wirkung der Durchforstung

Die vorgestellten Ergebnisse können nun zur Quantifizierung der Durchforstungswirkung verwendet werden. Dazu ist es notwendig auf der einen Seite die Eingriffsstärke richtig einzuordnen und auf der anderen Seite deren Auswirkung zu quantifizieren.

#### 5.1 Einordnung der Durchforstungsstärke

Die Einordnung der Eingriffsstärken der Durchforstungsprogramme (A-Grad, B-Grad und C-Grad) erfolgt im Vergleich zu einer Auswahl von klassischen Behandlungsprogrammen im Anhalt an die jeweilige Grundflächenhaltung über der Zeit (Abb. 9). Die Ertragstafel SCHÖBER (1967, mäßige Durchforstung) deckt den oberen Rahmen der Behandlungsprogramme ab. Es werden maximale Grundflächen von 34 qm in höherem

Alter erreicht. Die für Buchenbestände typischen Phasen der Astreinigung, Auslesephase, Lichtwuchsphase und Reifephase sind in den Behandlungsprogrammen recht unterschiedlich ausgeprägt. Gemeinsam ist diesen Programmen, dass sie im Alter von 60 bis 140 Jahren eine Grundflächenhaltung im Bereich von 20 bis 25 qm/ha aufweisen. Die Lichtung nach WIEDEMANN (1943) beschreibt die untere Grenze der Grundflächenhaltung innerhalb der klassischen Behandlungsprogramme. Im Vergleich dazu liegt auf der Versuchsfläche Elmstein 20 der A-Grad deutlich über den Grundflächenkurven aller dargestellten Behandlungsprogramme, der B-Grad verläuft mitten durch das Wertefeld dieser Programme und der C-Grad markiert über weite Strecken eine absolute Untergrenze der Grundflächenhaltung. Versuchstechnisch wurde seit Versuchsbeginn im Jahr 1871 in der Tat versucht, ein extrem breites Behandlungsspektrum abzudecken.

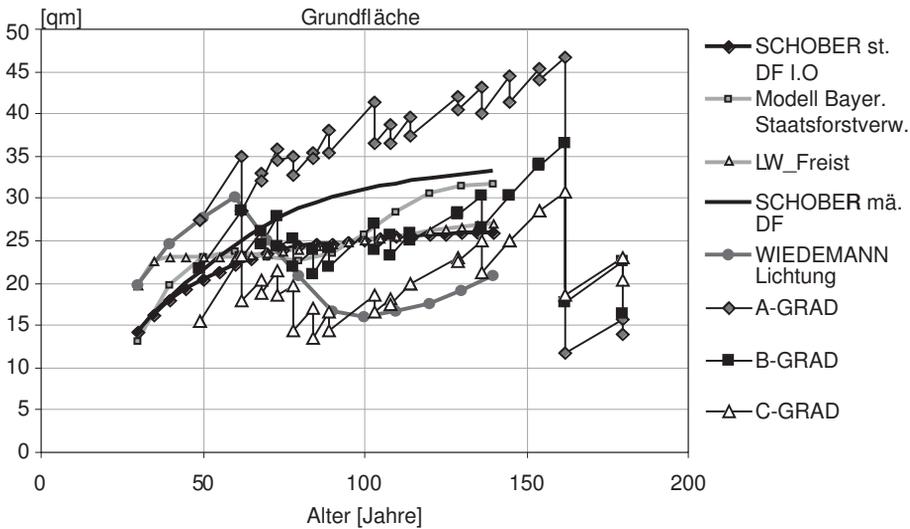


Abb. 9: Darstellung klassischer Buchen-Behandlungsprogramme anhand der Grundflächenentwicklung von der mäßigen Durchforstung nach SCHOBBER (1967), der starken Durchforstung nach SCHOBBER (1967), dem Konzept der BAYERISCHEN STAATSFORSTVERWALTUNG (2000), dem Lichtwuchs nach FREIST (1962) bis zur Lichtung nach WIEDEMANN (1943). Im Vergleich dazu sind die drei Versuchspartellen eingezeichnet.

Fig. 9: Development of basal area in beech stands in dependence of the used thinning programme. The moderate thinning from below (SCHOBBER, 1967), heavy thinning from below (SCHOBBER, 1967), the concept of the Bavarian Forest Service (BAYERISCHEN STAATSFORSTVERWALTUNG, 2000), increment thinning according to FREIST (1962) up to an open stand system described by WIEDEMANN (1943). In relation to this thinning programmes the development of basal area is shown for the three thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad=moderate thinning from below, C-Grad=heavy thinning from below) of the long-term experimental plot Elmstein 20.

Die Bestandesdichte nach REINEKE (1933) (Formel 2–4) veranschaulicht deutlich die über weite Phasen sehr unterschiedliche Dichte- bzw. Konkurrenzsituation auf den unterschiedlich behandelten Parzellen (Abbildung 10).

$$N = a \cdot dg^b \quad (2)$$

$$\ln N = \ln a + b \cdot \ln dg \quad (3)$$

$$SDI = N_{dg_{beob}} \cdot \left( \frac{25}{dg_{beob}} \right)^{-1,806} \quad (4)$$

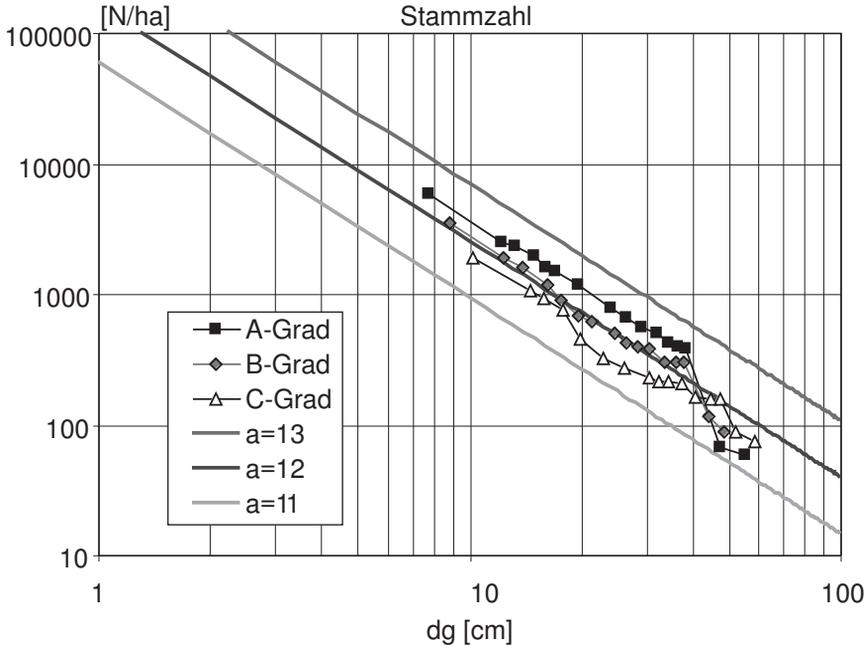


Abb. 10: Entwicklung der Bestandesdichte nach dem Konzept von REINEKE (1933). Dargestellt ist die Entwicklung der Stammzahl über dem Durchmesser des Grundflächenmittelstammes im doppelt logarithmischen System.

Fig. 10: Development of the stand density according to the principles of REINEKE (1933). In a double logarithmic scale the development of the stem number in relation to the diameter of the mean basal area tree is shown.

wobei:

N = Stammzahl

dg = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes

a, b = Koeffizienten

SDI = Stand Density Index

Während der Verlauf der SDI-Kurve des A-Grades das standörtliche Maximum kennzeichnet, liegen die Kurven des B- und C-Grades aufgrund der durchgeführten Durchforstungen deutlich darunter. Der verschobene Beginn der Kurve zeigt das Vorseilen des Mitteldurchmessers bei der stärkeren Durchforstung, eine Folge der rechnerischen Verschiebung der Mittelwerte bei Versuchsbeginn (ASSMANN 1961). Beim C-Grad wird die Lichtwuchsphase deutlich. Der SDI wird über eine längere Phase noch einmal kräftig nach unten verschoben. Bei einem Mitteldurchmesser von 25 cm ergibt sich für den A-, B- und C-Grad eine Staffelung des SDI von 792, 506 und 325, was einer Stammzahlstaffelung von 100:64:41% entspricht. Die Maximalwerte im A-Grad zeigen eine echte Obergrenze für die Stammzahl an, wie sie auch von DÖBBELER und SPELLMANN (2002) gefunden wurden. Das Abknicken aller Kurven bei den letzten beiden Aufnahmen hängt mit dem Sturmereignis von 1984 zusammen.

## 5.2 Massenentwicklung in Abhängigkeit von der Dichte

Der Verlauf des Volumenzuwachses ist aus ertragskundlicher Sicht mit eine der wichtigsten Kenngrößen für die Reaktion von Beständen auf unterschiedliche Durchforstungen.

In Abbildung 11 sind die Zuwachskurven der drei Behandlungsvarianten über dem Alter dargestellt. Die Volumenzuwächse wurden mit Hilfe einer Zuwachsfunktion (Ableitung der KORF-Funktion; Formel 5) ausgeglichen.

$$iv = a \cdot b \cdot c \cdot e^{-b \cdot \text{Alter}^{-c}} \cdot \text{Alter}^{-1-c} \quad (5)$$

wobei:

iv = jährlicher laufender Volumenzuwachs (VfmD/ha/a)

e = Euler'sche Zahl

a,b,c = Funktionsparameter

Der Zuwachs des A-Grades befindet sich zu Beginn der Beobachtung auf einem wesentlich höheren Niveau als bei den beiden Behandlungsvarianten. Im Alter von ca. 40 Jahren wird ein durchschnittlicher Zuwachs von 12 VfmD/ha/a erreicht. Er fällt jedoch mit zunehmendem Alter stark ab. Die Kurven des B- und C-Grades verlaufen gleichgerichtet, wobei der Zuwachs des B-Grades etwas über dem des C-Grades liegt. Die Werte liegen zu Beginn zwischen 6 und 6,5 VfmD/ha/a und steigen bis zum Alter von ca. 100 Jahren langsam aber kontinuierlich auf 7,0–7,5 VfmD/ha/a an, erst dann erfolgt ein Abflachen der Kurven. Die Zuwachswerte des unbehandelten Bestandes und der beiden behandelten Bestände nähern sich im höheren Alter an. Mit 160 Jahren liegt der Zuwachs auf allen drei Parzellen im Bereich von 8 VfmD/ha.

Das unterschiedliche Zuwachsniveau führt zu einer klaren Abstufung der Gesamtwuchsleistung in Abhängigkeit von der Eingriffsstärke. Der B-Grad erreicht etwa

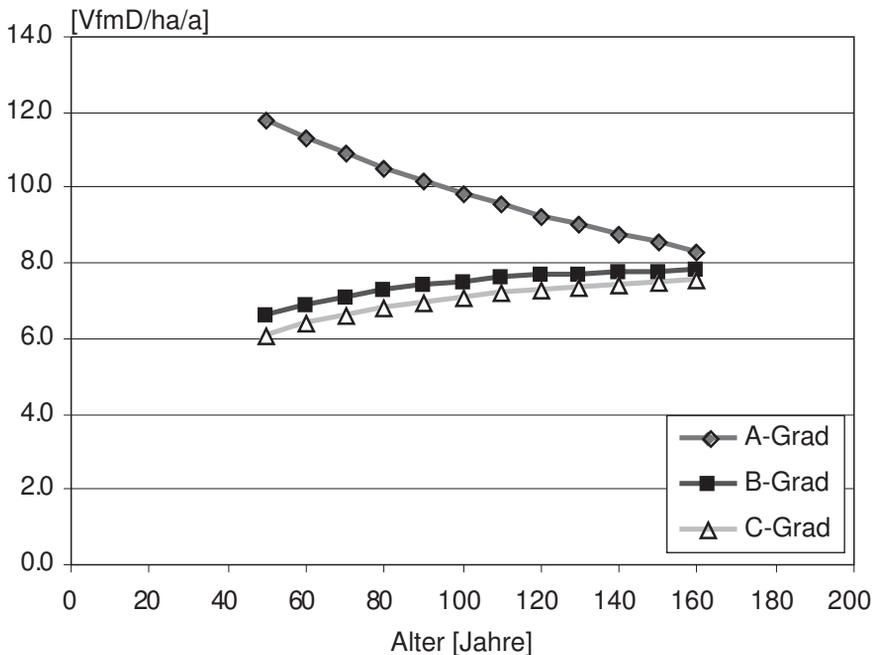


Abb. 11: Darstellung der Funktionswerte des laufenden jährlichen Volumenzuwachses für den A-, B- und C-Grad. Der Ausgleich erfolgte mit der Ableitung der KORF-Funktion (Formel 5).

Fig. 11: Long-term trial Elmstein 20: Equation of the current annual increment of the different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad=moderate thinning from below, C-Grad=heavy thinning from below) as a function of age (Alter). The curve was calculated by using the derivative of the KORF-function (formula 5).

80–85% der Gesamtwuchsleistung des A-Grades, der C-Grad liegt mit 75–80% noch etwas darunter. Hier muss darauf hingewiesen werden, dass der A-Grad auf dem standörtlich begünstigten Oberhang stockt. Bei absoluter Standortgleichheit könnten die Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten noch geringer ausfallen.

### 5.3 Zuwachsverhalten in Abhängigkeit von der Bestandesdichte und der Entwicklungsphase

Der Verlauf des Volumenzuwachses bei unterschiedlichen Dichten hat in den verschiedenen Entwicklungsphasen der Bestände recht charakteristische Muster. In der Auslesephase (Abb. 12, links) sinkt der Zuwachs mit Zunahme der Eingriffsstärke zunächst sehr stark ab. Bei 60% der maximalen Grundfläche werden nur ca. 50% des maximalen Zuwachses geleistet. Die Einzelbäume müssen sich erst an das veränderte Standraumangebot anpassen. Bereits in der nächsten Beobachtungsperiode (Abb. 12, rechts) haben sich die Bäume darauf besser eingestellt, der Zuwachsverlust mit zunehmender Absenkung der Grundfläche fällt geringer aus.

In der Lichtwuchsphase nimmt der Zuwachs mit abnehmender Bestandesdichte in einem weit geringeren Maße als in der Auslesephase ab. Grundflächenhaltungen auf einem Niveau von 50% der maximalen Grundflächenhaltung führen nur noch zu Zuwachsverlusten im Bereich von 30% (Abb. 13). Die Bäume haben sich an die günstigeren Standraumbedingungen gewöhnt und sind sehr effektiv in der Lage, den vergrößerten Wuchsraum zu nutzen.

Während der Reifephase (Abb. 14) haben sich die Verhältnisse angeglichen, trotz sehr unterschiedlicher Grundflächenhaltung wird auf allen Parzellen ein annähernd gleich hoher Zuwachs geleistet. Die Bäume auf den behandelten Parzellen haben größere Kronen ausgebildet und das Kronendach wieder geschlossen. Weitere Unterbrechungen des Kronendaches finden nicht mehr statt.

### 5.4 Einzelbaumentwicklung in Abhängigkeit von der Bestandesbehandlung

Wie wirken sich nun diese im Kapitel 5.3 vorgestellten Unterschiede in der Flächenproduktivität auf die Leistung der Einzelbäume aus? Wie stark ist der Durchmessererwerb für bestimmte Baumkollektive?

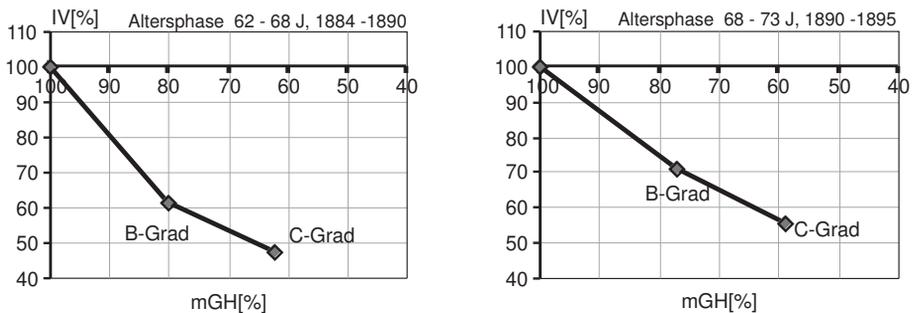


Abb. 12: Volumenzuwachsprozent (IV [%]) des B- und C-Grades in Abhängigkeit von der mittleren Grundflächenhaltung des A-Grades (= 100%-Linie) während der Auslesephase (Beobachtungsperioden 1884–1890 (links) und 1890–1895 (rechts)).

Fig. 12: Percentage volume increment (IV [%]) B-Grad=moderate thinning from below and C-Grad=heavy thinning from below in percent of the A-Grad = without thinning (= 100%-line) in dependence of the percentage mean basal area (mGH%) during the phase of selective thinning (survey period 1884–1890 (left) and 1890–1895 (right)).

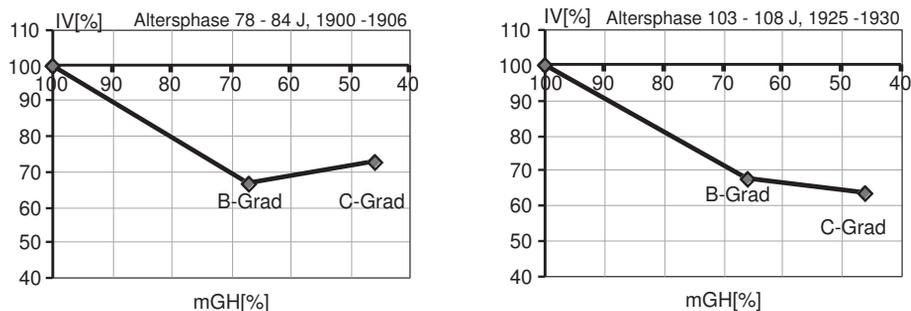


Abb. 13: Volumenzuwachsprozent (IV [%]) des B- und C-Grades in Abhängigkeit von der mittleren Grundflächenhaltung des A-Grades (= 100%-Linie) während der Lichtwuchsphase (Beobachtungsperioden 1900–1906 (links) und 1925–1930 (rechts)).

Fig. 13: Percentage volume increment (IV [%]) of the B-Grad=moderate thinning from below and C-Grad=heavy thinning from below in percent of the A-Grad = without thinning (= 100%-line) in dependence of the percentage mean basal area (mGH%) during the phase of increment felling (survey period 1900–1906 (left) and 1925–1930 (right)).

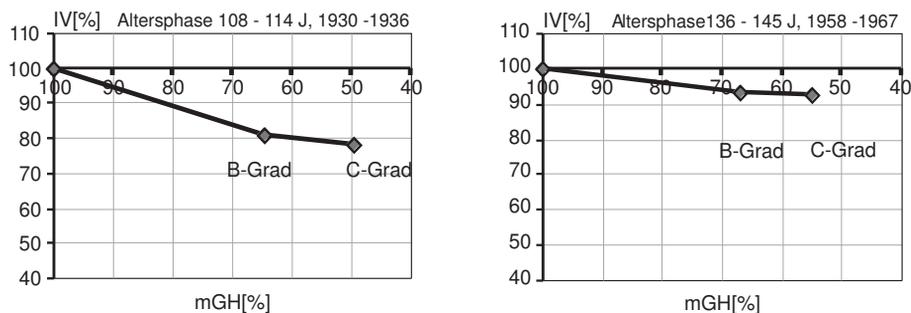


Abb. 14: Volumenzuwachsprozent (IV [%]) des B- und C-Grades in Abhängigkeit von der mittleren Grundflächenhaltung des A-Grades (= 100%-Linie) während der Reifephase (Beobachtungsperioden 1930–1936 (links) und 1958–1967 (rechts)).

Fig. 14: Percentage volume increment (IV [%]), B-Grad=moderate thinning from below and C-Grad=heavy thinning from below in percent of the A-Grad = without thinning (= 100%-line) in dependence of the percentage mean basal area (mGH%) in the final phase before regeneration (survey period 1930–1936 (left) and 1958–1967 (right)).

Betrachtet man den Durchmesser der 100 stärksten Bäume ( $d_{100}$ ), so hat der A-Grad zu Versuchsbeginn einen  $d_{100}$  von 18,5 cm, der C-Grad von 16,1 cm (Tabelle 1 im Anhang). Diese Werte sind nach der Erstdurchforstung im Jahr 1872 erhoben, im C-Grad wurden vorherrschende Bäume mit schlechter Qualität entnommen, der Wert des  $d_{100}$  sinkt dadurch. Im Jahr 1977, vor dem Windwurf, war der  $d_{100}$  im A-Grad bei 51,6 cm und im C-Grad bei 52,6 cm. Bildet man die Differenz des  $d_{100}$  zwischen 1872 und 1977, so konnte im A-Grad der  $d_{100}$  um 33,1 cm gesteigert werden, im C-Grad hingegen um 36,5 cm. Das bedeutet, dass die Durchmessersteigerung durch die Durchforstung im C-Grad in diesem Fall im Durchschnitt der 100 stärksten Bäume 3,4 cm beträgt.

Wird der Durchmesserzuwachs der 150 dicksten Bäume des Jahres 1984 (vor dem Windwurf) vom Jahr 1926 (seit diesem Zeitpunkt sind die Bäume einzelstammweise nummeriert), bis zum Jahr 1984 betrachtet, so zeigt sich eine geringe aber stete Überlegenheit des C-Grades im Vergleich zum A-Grad. Der Unterschied im Durchmesserzuwachs be-

trägt ca. 0,5 mm/Jahr (Abb. 15, links). Wird die Zuwachsleistung vom A-Grad gleich 100% gesetzt (Abb. 15, rechts), so zeigt sich eine Überlegenheit der starken Durchforstung im Bereich von 10–20%. In ungünstigen Jahren, wie z.B. von 1937 bis 1952, nähern sich die Zuwachsleistung aller Varianten an.

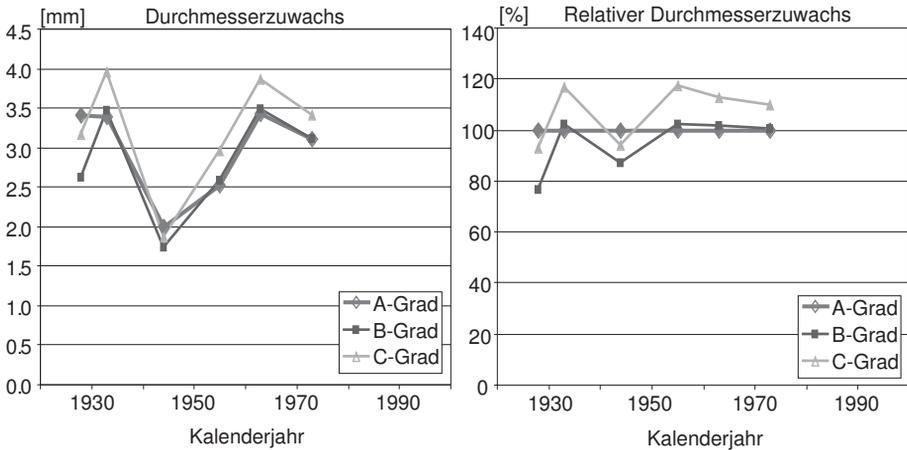


Abb. 15: Entwicklung des Durchmesserzuwachses der im Jahr 1985 150 stärksten Bäume über dem Kalenderjahr (Zeitraum 1926–1985) für den A-, B- und C-Grad (links). Prozentuale Relation des Durchmesserzuwachses des B- und C-Grades im Vergleich zum A-Grad der im Jahr 1985 150 stärksten Bäume über dem Kalenderjahr (Zeitraum 1926–1985) (rechts).

Fig. 15: Long-term experimental plot Elmstein 20: Mean annual diameter increment of the 150 trees with the largest diameter per hectare influenced by different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad=moderate thinning from below, C-Grad=heavy thinning from below).over the time (Kalenderjahr) (left) and the relative deviation of the different treatments from the A-Grad = without thinning) (right).

## 6 Ökonomische Bewertung

Zur Quantifizierung der Auswirkung unterschiedlicher Durchforstungen bietet sich ein Vergleich der Abtriebswerte im Jahr 1985, vor dem Windwurfereignis, an. Die Sortierung der Bestände erfolgte mit dem Programm BDAT, das im Wachstumsmodell SILVA 2.2 integriert ist (KAHN und PRETZSCH 1997).

Die unterschiedlichen Durchmesserverteilungen in den Beständen spiegeln sich in der Sortimentsverteilung wider (Abbildung 16). Im A-Grad sind viele schwache Bäume noch vorhanden, im C-Grad wurden diese Bäume schon bei vorherigen Durchforstungen entnommen. Daraus resultiert die mit ca. 100 Efm relativ hohe Menge nicht verwertbaren Derbholzes im A-Grad. Im oberen Durchmesserbereich finden sich im A-Grad ähnlich viele dicke Bäume wie im C-Grad, die Verteilungen unterscheiden sich nicht in den Maximalwerten sondern in der Häufigkeit mit der Bäume im Durchmesserbereich zwischen 35 und 60 cm Bhd vorkommen. Deswegen gibt es im C-Grad ein bemerkenswertes Maximum im Bereich der Stärkeklasse 4b. Trotzdem erbringt der A-Grad insgesamt einen um ca. 100 Efm höheren Stammholzanteil als der C-Grad.

Werden diese ermittelten Sorten mit durchschnittlichen Holzpreisen und Erntekosten bewertet, so ergibt sich die in Tabelle 1 niedergelegte Wertrelation. Dünne Sortimente haben niedrige Erlöse, starke Sortimente erbringen wesentlich höhere Deckungsbeiträge.

Die Berechnungen zeigen, dass der Beitrag der einzelnen Sortimente zur Gesamtleistung der einzelnen Bestände recht unterschiedlich ist (Abb. 17). Die großen verwertba-

Tabelle 1. Mittlere holzerntekostenfreie Erlöse für die einzelnen Sortimente in EURO/fm.

Table 1. Excess revenue over harvesting costs in EURO/cubic metre according to the assortment.

Stärkeklasse	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	I-Holz
Holzerntekostenfreier Erlös	0	0	0	50	50	50	80	107	134	134	156	0	13

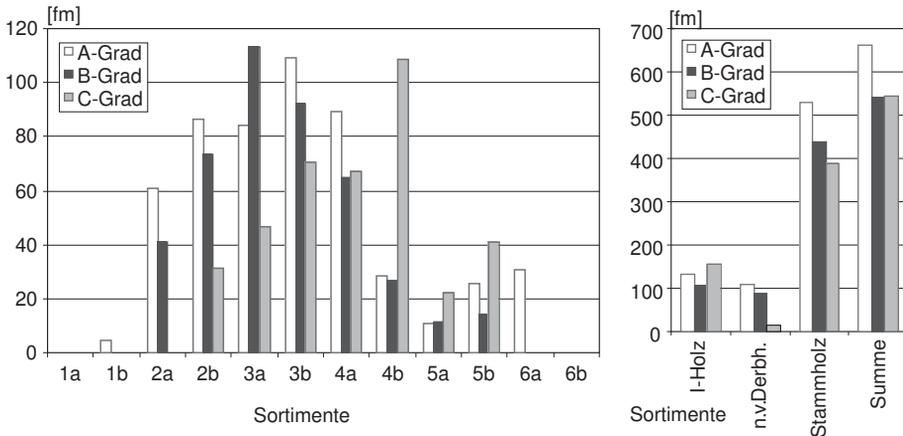


Abb. 16: Sortenverteilung für die Behandlungsvarianten A-Grad, B-Grad und C-Grad im Jahr 1984 vor dem Windwurfereignis. Auf der linken Seite ist die Sortierung in die Stammholzklassen angegeben, auf der rechten Seite ist die Zusammenfassung der Bestände in die Sortimente Industrieholz (I-Holz), nicht verwertbares Derbholz (n.v.Derbh.), das Stammholz und die Gesamtsumme des geernteten Holzes dargestellt.

Fig. 16: Assortment of the different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad=moderate thinning from below, C-Grad=heavy thinning from below). The assortment corresponding to stem wood grading rules is shown (left) and the global classification of industrial wood (I-Holz), not usable compact wood (n.v.Derbh.), stem wood (Stammholz) and total sum of compact wood (Summe) (right).

ren Holz mengen im A-Grad führen jetzt nicht mehr zu einer Wertüberlegenheit des A-Grades. Durch die bessere Sortimentsstruktur im C-Grad erhöht sich dort die Wertleistung und zieht dadurch mit dem A-Grad gleich.

## 7 Diskussion, Wertung

Bei dem Versuch Elmstein 20 handelt es sich um einen der ältesten ertragskundlichen Versuche mit der klassischen Niederdurchforstungsarten A-, B- und C-Grad.

### 7.1 Beurteilung der Durchforstung

Der Zeitpunkt der Ersteingriffes erscheint relativ spät. Beispielsweise wird von ALTHERR (1971) der Beginn der Lichtwuchsphase bei einem Alter von 50 Jahren festgelegt. KLÄDTKE (2002) stellte fest, dass Zieldurchmesser von 60 cm in 90 Jahren bei einem Beginn der Lichtwuchsdurchforstung im Alter von 49 Jahren erreicht werden können. In Elmstein beginnt der erste Eingriff im Alter von 50 Jahren, die Lichtwuchsphase erst ab einem Alter von ca. 75 Jahren. Orientiert man sich jedoch an der Oberhöhe (17 m), hat der Eingriff zum richtigen Zeitpunkt stattgefunden. Erst dann ist eine ausreichende astfreie Schaftlänge von 8 bis 10 m erreicht.

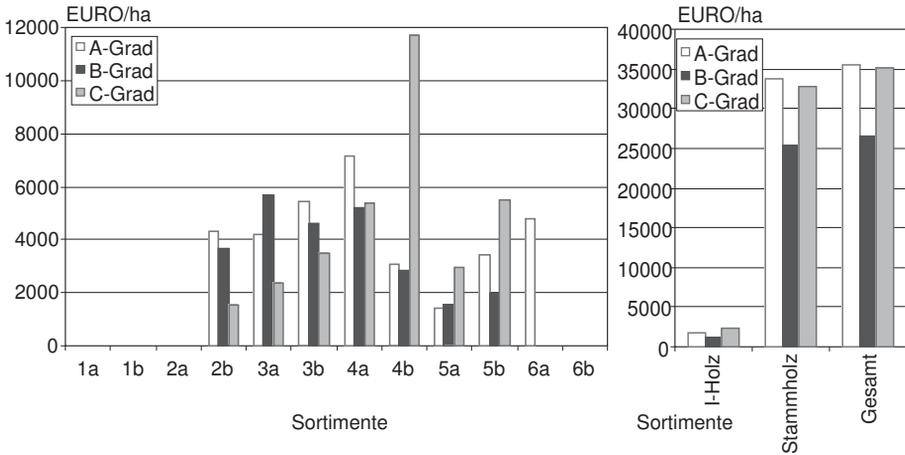


Abb. 17: Verteilung der holzerntekostenfreien Erlöse für die Behandlungsvarianten A-Grad, B-Grad und C-Grad im Jahr 1985 vor dem Windwurfereignis. Auf der linken Seite sind die Erlöse für die einzelnen Stammholzklassen angegeben, auf der rechten Seite ist die Zusammenfassung der Erlöse für die Sortimente Industrielholz (I-Holz), das Stammholz und den Gesamtbestand dargestellt.

Fig. 17: Distribution of the excess revenue over harvesting costs in EURO/cubic metre according to the assortment (left) and the global classification of the growing stock in industrial wood (I-Holz), stem wood (Stammholz) and total sum of compact wood (Gesamt) (right). The signatures indicate different thinning intensities (A-Grad = without thinning, B-Grad=moderate thinning from below, C-Grad=heavy thinning from below).

Der Versuch ist durch einen intensiven 5-jährigen Durchforstungsturnus gekennzeichnet (mit Ausnahme der Kriegszeit) und die unterschiedlichen Durchforstungsstärken innerhalb der Behandlungsvarianten sind deutlich zu erkennen. Schon zu Versuchsbeginn zeigt sich eine enorme Stammzahlstaffelung (A-Grad: 5844, B-Grad: 3544, C-Grad 1889). Im weiteren Verlauf liegen die Vornutzungsprozente des A-Grades bei 8%, des B-Grades bei 28% und des C-Grades bei 43% (1911). Im höheren Alter nähern sie sich aneinander an (1985: A-Grad: 24%; B-Grad 30%; C-Grad 30%). Auch sind insbesondere im C-Grad deutlich eine Auslese- und Lichtwuchsphase zu erkennen. Nach der Änderung des Arbeitsplanes von 1902 waren die Eingriffe zudem durchaus qualitätsorientiert. Der Aufbau der Bestände und des Versuchskonzeptes lassen einen Vergleich mit Durchforstungskonzepten durchaus zu, die frühzeitige und starke Eingriffe propagieren (WILHELM et al. 1999, KLÄDTKE 2002).

## 7.2 Reaktion des Bestandes auf die Durchforstungen

Die Effekte dieser Behandlungsvarianten schlagen sich in den Ergebnissen deutlich nieder. Die zeitweise hohen Durchforstungsstärken führen zu einem Massenzuwachsverlust, im C-Grad können sie teilweise 50% erreichen, im höheren Alter liegen sie immerhin noch bei 30%. Erst nach Abschluß der starken Durchforstungen verringern sie sich auf 10–20%, wie sie von ALTHERR (1971) bei einer konsequenten Absenkung der Grundfläche auf 20 qm/ha festgestellt werden. Folge davon sind geringere Gesamtwachstumsleistungen. Der C-Grad erreicht nur zwischen 75–80% der Gesamtwachstumsleistung des A-Grades. Der geringfügig bessere Standort verstärkt das Wachstum auf der A-Grad-Parzelle, die Leistungsunterschiede zum C-Grad treten noch deutlicher hervor. Die geringen Reaktionen der Bäume auf der B-Grad-Parzelle lassen sich teilweise auch durch die Bestandeschichte (Eichen-Überhälter) erklären. Trotz der im Experimenten nicht konstant gehaltenen

Randfaktoren wie z. B. Standort und Bestandesstruktur sind die gefundenen Ergebnisse durchaus mit anderen Ergebnissen vergleichbar (ASSMANN 1961, KENNEL 1972).

Die gefundenen Massenverluste werden in der Praxis durchaus in Kauf genommen, wenn damit der Zuwachs auf qualitativ hochwertige Stämme gelenkt und die flächenbezogene Wertleistung erhöht wird. Der Durchmesserzuwachs liegt bei Betrachtung aller Bäume im C-Grad höher, insgesamt ist eine Durchmessersteigerung von 5 bis maximal 10 cm erreichbar. Die durchschnittlichen Jahrringbreiten herrschender Bäume liegen zwischen 1,5 und 2 mm. Maximal werden Werte von 4 mm erreicht. Diese Werte liegen deutlich unterhalb der für Bayerische Verhältnisse festgestellten durchschnittlichen Jahrringbreiten (UTSCHIG 2000).

Weiterhin muss festgehalten werden, dass die stärksten 20 Bäume im A-Grad trotz kleinerer Kronengrundflächen durchaus in der Lage sind ähnliche Durchmesserzuwächse zu erreichen wie das Vergleichskollektiv im C-Grad. Ab einem gewissen Zeitpunkt führte eine Vergrößerung der Kronen auf diesem Standort nicht mehr automatisch zu einer Steigerung des Durchmesserzuwachses (UTSCHIG 2002). Der vorgegebene Zieldurchmesser von 60 cm bei einer Umtriebszeit von 140 Jahren ist auf diesem Standort auch bei stärkeren Durchforstungsvarianten kaum zu erreichen.

Allgemein wird das Wachstumspotential der Bäume im wesentlichen durch Licht, Klima und Boden bestimmt. Die auf dem C-Grad gefundenen Zuwachsreaktionen lassen den Schluss zu, dass auf diesem Standort das Wachstum nicht durch Licht, sondern durch Klima und Bodenbeschaffenheit limitiert ist. Nur so lassen sich die vergleichsweise geringen Wachstumsreaktionen auf die Durchforstungen erklären. Die derzeit diskutierten Zielsetzungen für Buchenbestände (z. B. UTSCHIG 2000, GUERICKE 2002, KLÄDTKE 2002, WILHELM et al. 1999) können hier aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten nicht erreicht werden.

Ein Vergleich der Sortimenten zeigt, dass durch die Durchmessersteigerung die aufgetretenen Massenverluste wertmäßig ausgeglichen werden können. Eine Wertsteigerung war jedoch auf diesem mittleren Standort nicht zu erreichen. Wenn jedoch die höheren Vornutzungserträge und qualitätssteigernde Effekte im C-Grad mit berücksichtigt werden, kann von einer Erhöhung der Gesamtwertleistung gesprochen werden.

### 7.3 Wertung der Versuchsergebnisse

Bei dem Versuch Elmstein 20 handelt es sich um einen Versuch ohne Wiederholung mit Standortunterschieden zwischen Oberhang und Unterhang. Eine Beurteilung der Ergebnisse dieses Experimentes muss diese Randbedingungen berücksichtigen. Gleichzeitig geben die Versuchsergebnisse grundsätzliche Reaktionsmuster wieder, die auch unter den gegebenen Versuchsbedingungen gut interpretierbar sind. Interessant ist, dass bei besserer Nährstoffversorgung die Reaktionsmuster auf den Eingriff anders sind (PRETZSCH 2003). Die Bäume können hier den erhöhten Lichtgenuss effektiv in Zuwachs umsetzen. Die Durchmesserzunahme ist größer, der flächenbezogene Zuwachsverlust durch die Durchforstung wird geringer. Die Interpretation der Ergebnisse von Streuversuchen ist durch spezifischen Wachstumsbedingungen in der jeweiligen Region erschwert. Deswegen sind in solchen Versuchsanlagen unbehandelte Vergleichspartellen unentbehrliche Referenzen.

Der B-Grad ist vergleichsweise stark durchforstet, d. h. eine Optimumsbeziehung zwischen Dichte und Zuwachs ist mit diesen wenigen Daten nicht nachweisbar. Die durchgeführten Eingriffe führen zu deutlichen Zuwachsverlusten, die durch die Veränderung der Sortimentsstruktur bei Betrachtung der Wertleistung noch kompensiert werden können.

Die starken Zuwachsreaktionen nach dem Windwurf 1984 zeigen bei ausreichender Standortsgüte die Reaktionsfähigkeit der Buche in höherem Alter. Deswegen ist es nicht notwendig, die Eingriffsstärke zu Beginn der Durchforstungsphase zu maximieren. Als viel wichtiger erweist sich eine konstante Förderung der besten Bäume (DITTMAR 1991).

Die hohe Reaktionsfähigkeit der Bäume am Ende des Untersuchungszeitraumes kann auch ein Hinweis auf die sich verändernden Standortbedingungen durch Stickstoffeinträge (MINISTERIUM f. UMWELT u. FORSTEN RHEINLAND-PFALZ 2002) sein, die in ihrer Auswirkung auf das Baumwachstum nicht unterschätzt werden dürfen.

## 8 Literatur

- ABETZ, P., 1977: Der europäische Stammzahlversuch in Fichte (*Picea abies* Karst.). Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 80, 80 Seiten.
- ABETZ, P., 1971: Douglasienstandraumversuche, ein Gemeinschaftsprojekt forstlicher Versuchsanstalten und Landesforstverwaltungen. AFZ, 26, S.448
- ALTHERR, P., 1971: Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. Bericht zur 15. Hauptversammlung des Baden-Württembergischen Forstvereins. S. 123–127.
- ASSMANN, E., 1961: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien, 490 Seiten.
- BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (2000): Pflege und Verjüngung der Buche. Mit LMS v. 08.03.2000; F5-W 102–7, 19 Seiten.
- DRITMAR, O., 1991: Der Seebach'sche Lichtungsbetrieb. Der Wald, 41, S. 165–168.
- DÖBBELER, H. und SPELLMANN, H., 2002: Methodological Approach to Simulate and Evaluate Silvicultural Treatments under Climate Change, Forstwissenschaftliches Centralblatt, Volume 121, Supplement 1, S. 52–69.
- DVFFA, 1873: Arbeitsplan des Vereins der Forstlichen Versuchsanstalten von 1873. Nach ASSMANN, 1961: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien, S. 205.
- DVFFA, 1902: Arbeitsplan des Vereins der Forstlichen Versuchsanstalten von 1902. Nach ASSMANN, 1961: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien, S. 206.
- FREIST, F., 1962: Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnutzung im Forstbetrieb. Forstwiss. Forsch., Beihefte zum Forstw. Cbl., H. 17, 78 Seiten.
- GUERICKE, M., 2002: Untersuchungen zur Wuchsdynamik der Buche. Forst und Holz, 57, S. 331–337.
- JOHANN, K., 1993: DESER-Norm 1993. Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumskundlichen Dauerversuchen. Tagungsbericht von der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten in Unterreichenbach-Kapfenhardt, S. 96–104.
- KAHN, M. und PRETZSCH, H., 1997: Das Wachstumsmodell SILVA-Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 168, S. 115–123.
- KLÄDTKE, J., 2002: Wachstum großkroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen. Forstarchiv, 73, S. 211–217.
- KENNEL, R., 1972: Die Buchendurchforstungsversuche in Bayern von 1870 bis 1970. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt München, Nr. 7, 264 Seiten.
- PRETZSCH, H., 2003: Diversität und Produktivität von Wäldern. Allg. Forst und Jagdzeitung, 174, S. 88–99.
- MINISTERIUM f. UMWELT u. FORSTEN RHEINLAND-PFALZ, 2002: Waldzustandsbericht 2002, 76 Seiten.
- PRETZSCH, H., UTSCHIG, H., BACHMANN, M., 2002: Innovation durch Kontinuität -das ertragskundliche Versuchswesen in Bayern. In: BLEYMÜLLER, H., GUNDERMANN, E., BECK, R., 2002: 250 Jahre Bayerische Staatsforstverwaltung -Rückblicke, Einblicke, Ausblicke-. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, H. 51, Band 2, S. 425–443.
- REINEKE, L. H., 1933: Perfecting A Stand-Density Index For Even-Aged Forests. Journal of Agricultural Research, Vol. 46, No. 7, S. 142–156.
- SCHÄDELIN, 1942: Die Auslesedurchforstung, Verlag Haupt, Bern-Leipzig, 147 Seiten.
- SCHÖBER, R., 1967: Ertragstafel Rotbuche, mäßige Durchforstung. In: SCHÖBER, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, S. 30–37.
- SCHÖBER, R., 1967: Ertragstafel Rotbuche, starke Durchforstung. In: SCHÖBER, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, S. 38–45.
- UTSCHIG, H., 2000: Wachstum vorherrschender Buchen in Abhängigkeit von Standort und Behandlung. Forst und Holz, 55, S. 44–50.
- UTSCHIG, 2002: Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristig beobachteten Versuchsflächen. – Methoden, Programmentwicklung und erste Ergebnisse – . Forstw. Cbl., 121, S. 335–348.
- WIEDMANN (1943): Ertragstafel Rotbuche, Lichtung. In: SCHÖBER, R., 1975: Ertragstafeln wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. Main, S. 46–47.
- WILHELM, G.J., LETTER, H.-A., EDER, W., 1999: Qualifizieren-Dimensionieren: Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. AFZ/Der Wald, 5/1999, S. 232–240.

**Anhang 1:** Ertragskundliche Kenngrößen für die Versuchsfläche Elmstein 20, gegliedert nach der Eingriffsstärke, Parzelle 1 (A-Grad), Parzelle 2 (B-Grad) und Parzelle 3 (C-Grad). Angegeben sind das Jahr der Aufnahme mit Angaben zum Zeitpunkt Frühjahr (F) und Herbst (H), das Alter des Bestandes, die Stammzahl verbleibend (NV), die Mittelhöhe der 100 stärksten Stämme (ho) und der dazugehörige Mitteldurchmesser (do), die Höhe des Grundflächenmittelstammes (hgv) und der dazugehörige Durchmesser (dgv), die Grundfläche des verbleibenden Bestandes (GV), der Vorrat des verbleibenden Bestandes (VV), die Stammzahl des ausscheidenden Bestandes (NA) und die Höhe (hga) und der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dga) des ausscheidenden Bestandes, der ausscheidende Vorrat (VA), die Gesamtwachstumleistung an Volumen (GWL) und die mittlere Grundflächenhaltung in den Zuwachsperioden (MGH), der laufende Volumenzuwachs (IV), der durchschnittliche Gesamtwuchs (DGZ) und die Länge der jeweiligen Zuwachsperiode (PER).

**Appendix 1:** Characteristics of the long-term trial plot Elmstein 20 in dependence of the thinning grade, plot 1: A-grade, without active thinning, plot 2: B-grade, moderate thinning from below, plot 3: C-grade, heavy thinning from below. The table shows the year of survey (Jahr), the period of survey, spring (F) or autumn (H), stand age (Alter), number of trees (NV), top height (ho) (mean height of the 100 trees with the largest diameter per hectare) and their mean diameter (do), mean height (hgv) and mean diameter (dgv), basal area (GV) and growing stock (VV) for the remaining stand; stem number (NA), mean height (hga), mean diameter (dga) and volume (VA) for the removed stand; total volume production (GWL), the mean basal area in a growth period (MGH), the annual increment during the last survey period (IV), the mean annual increment (DGZ) and the length of the growth period (PER).

JAHR	Alter	BA	NV	ho	do	hgv	dgv	GV	VV	NA	hga	dga	VA	GWL	MGH	IV	DGZ	PER
Parzelle 1 A-Grad																		
1872F	49	BUCHE	5844	11,7	18,5	8,6	7,7	27,5	88	0	0,0	0,0	0	88			1,8	
1884H	62	BUCHE	2497	19,6	24,4	16,2	12,1	28,5	216	3347	10,2	4,9	9	225	31,2	10,6	3,6	13
1890H	68	BUCHE	2339	22,2	26,3	18,7	13,2	32,2	289	158	14,5	7,4	4	302	30,7	12,7	4,4	6
1895H	73	BUCHE	1986	24,2	28,5	20,7	14,9	34,5	350	353	15,0	7,2	8	371	34,0	13,8	5,1	5
1900H	78	BUCHE	1619	25,7	29,5	22,3	16,0	32,7	362	367	17,5	8,8	17	399	34,7	5,8	5,1	5
1906H	84	BUCHE	1531	27,4	30,9	23,8	17,0	34,8	417	88	18,6	9,2	5	459	34,1	9,9	5,5	6
1911H	89	BUCHE	1175	28,6	32,7	25,5	19,6	35,4	458	356	19,4	9,6	22	522	36,4	12,6	5,9	5
1926F	103	BUCHE	797	31,4	36,9	28,6	24,1	36,4	537	378	23,0	12,9	53	654	38,4	9,5	6,4	14
1930H	108	BUCHE	664	32,1	38,7	29,7	26,4	36,4	560	133	25,0	15,1	29	706	37,6	10,4	6,5	5
1936H	114	BUCHE	561	33,0	40,9	30,8	29,1	37,4	600	103	25,9	16,3	26	773	38,0	11,1	6,8	6
1952F	129	BUCHE	506	34,5	44,4	32,3	32,0	40,6	687	55	27,3	18,6	20	879	39,8	7,1	6,8	15
1959F	136	BUCHE	433	35,1	46,1	33,0	34,3	40,1	696	73	29,7	23,6	48	937	41,9	8,2	6,9	7
1968F	145	BUCHE	397	35,8	48,9	33,7	36,4	41,4	736	36	32,9	33,0	54	1031	42,3	10,4	7,1	9
1977F	154	BUCHE	383	36,4	51,6	34,2	38,2	44,0	798	14	33,8	36,5	26	1118	43,4	9,7	7,3	9
1985F	162	BUCHE	67	35,9	47,3	35,9	47,3	11,7	224	316	34,0	37,5	632	1177	45,4	7,3	7,3	8
2002H	180	BUCHE	58	37,1	55,1	37,1	55,1	13,9	275	9	36,9	53,7	37	1265	13,8	4,9	7,0	18
Parzelle 2 B-Grad																		
1872F	49	BUCHE	3533	16,9	17,1	15,2	8,8	21,6	134	0	0,0	0,0	0	134			2,7	
1884H	62	BUCHE	1917	21,3	21,3	18,5	12,3	22,9	196	1616	14,2	6,7	22	219	25,1	6,5	3,5	13
1890H	68	BUCHE	1625	23,0	22,9	20,0	13,9	24,6	233	292	16,1	8,4	11	265	24,6	7,8	3,9	6
1895H	73	BUCHE	1172	24,4	24,8	21,7	16,2	24,2	254	453	17,7	10,0	28	315	26,2	9,8	4,3	5
1900H	78	BUCHE	889	25,5	25,4	22,9	17,7	21,8	245	283	19,8	12,2	30	336	24,7	4,2	4,3	5
1906H	84	BUCHE	697	26,8	27,0	24,5	19,6	21,0	255	192	21,5	14,0	30	375	22,9	6,6	4,5	6
1911H	89	BUCHE	611	27,9	28,7	25,7	21,4	22,0	283	86	24,0	17,6	25	428	22,5	10,6	4,8	5
1926F	103	BUCHE	506	30,5	32,7	28,2	24,6	24,0	346	105	26,1	19,6	41	532	24,5	7,4	5,2	14
1930H	108	BUCHE	425	31,3	34,0	29,3	26,4	23,2	350	81	26,4	19,5	32	567	24,8	7,0	5,3	5
1936H	114	BUCHE	397	32,3	36,0	30,4	28,3	24,9	391	28	27,3	20,4	12	621	24,5	9,0	5,4	6
1952F	129	BUCHE	389	34,0	38,8	32,0	30,3	28,1	468	8	27,2	18,9	3	701	26,6	5,3	5,4	15
1959F	136	BUCHE	303	34,8	40,6	33,2	33,4	26,5	460	86	30,1	24,1	60	753	29,2	7,4	5,5	7
1968F	145	BUCHE	303	35,9	43,8	34,2	35,8	30,4	548	0	0,0	0,0	0	841	28,4	9,7	5,8	9
1977F	154	BUCHE	300	36,8	46,9	35,1	37,9	33,9	628	3	30,1	23,1	2	923	32,2	9,1	6,0	9
1985F	162	BUCHE	117	36,8	45,5	36,5	43,8	17,6	341	183	34,9	36,2	346	982	35,2	7,3	6,1	8
2002H	180	BUCHE	89	37,6	48,4	37,6	48,4	16,4	327	28	38,3	52,9	124	1093	20,0	6,2	6,1	18
Parzelle 3 C-Grad																		
1872F	49	BUCHE	1889	16,8	16,1	15,7	10,2	15,4	104	0	0,0	0,0	0	104			2,1	
1884H	62	BUCHE	1089	20,0	21,0	18,6	14,5	17,9	155	800	16,4	9,3	38	192	19,4	6,8	3,1	13
1890H	68	BUCHE	950	21,9	22,7	20,0	15,9	18,8	179	139	17,9	11,5	12	228	19,1	6,0	3,4	6
1895H	73	BUCHE	750	23,4	24,3	21,3	17,8	18,6	193	200	19,2	13,4	25	267	20,1	7,7	3,7	5
1900H	78	BUCHE	464	24,6	25,5	22,8	19,9	14,4	163	286	20,7	15,4	52	289	19,2	4,5	3,7	5
1906H	84	BUCHE	325	26,2	27,8	24,7	23,0	13,5	168	139	22,5	17,8	38	332	15,7	7,2	4,0	6
1911H	89	BUCHE	269	27,7	30,5	26,4	26,1	14,4	195	56	24,8	21,7	25	384	15,0	10,3	4,3	5
1926F	103	BUCHE	228	30,7	35,0	29,4	30,4	16,6	252	41	27,4	25,1	29	471	16,5	6,2	4,6	14
1930H	108	BUCHE	217	31,7	36,8	30,4	32,1	17,6	278	11	27,5	24,7	7	504	17,3	6,6	4,7	5
1936H	114	BUCHE	214	32,9	39,4	31,5	34,4	19,9	329	3	26,1	21,4	1	556	18,8	8,7	4,9	6
1952F	129	BUCHE	208	34,7	42,6	33,3	37,2	22,6	397	6	31,4	31,6	7	631	21,5	5,0	4,9	15
1959F	136	BUCHE	164	35,6	45,0	34,5	40,7	21,3	390	44	31,9	32,3	61	685	23,8	7,7	5,0	7
1968F	145	BUCHE	161	36,8	48,9	35,8	44,4	24,9	473	3	30,8	29,1	3	771	23,2	9,6	5,3	9
1977F	154	BUCHE	161	37,7	52,6	36,7	47,4	28,5	556	0	0,0	0,0	0	854	26,7	9,2	5,5	9
1985F	162	BUCHE	89	37,7	51,7	37,7	51,7	18,7	374	72	36,4	46,0	234	906	29,6	6,5	5,6	8
2002H	180	BUCHE	75	38,9	58,8	38,9	58,8	20,4	422	14	37,3	50,2	54	1008	20,9	5,7	5,6	18

*Anschrift der Verfasser:* Dr. HEINZ UTSCHIG, Dr. ELKE KÜSTERS, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising.