

# Der Eichen-Durchforstungsversuch Waldleiningen 88. Auswirkungen unterschiedlicher Eingriffsstärken nach 65 Jahren Beobachtung

## The oak thinning experiment Waldleiningen 88. Growth reactions in dependence on different thinning regimes after 65 years' observation

Von H. UTSCHIG und H. PRETZSCH

### Zusammenfassung

Der Versuch Waldleiningen 88 wurde im Jahr 1934 bei einem Bestandesalter von 48 Jahren durch Professor FABRICIUS angelegt. Die Versuchsfläche liegt in der Nähe von Kaiserslautern im Südlichen Pfälzer Wald. Der Standort ist durch ein günstiges Klima, eine mittlere Nährstoffversorgung und ausreichenden Niederschlag in der Vegetationszeit gekennzeichnet. Die ertragskundlichen Ergebnisse zeigen ein sehr hohes Leistungsvermögen der untersuchten Eichenbestände. Unbehandelte Bestände zeigen Maximalwerte der Bestandesdichte von 40 m<sup>2</sup>/ha für die Eiche. Das Zuwachsniveau liegt bei gleichbleibender bis steigender Tendenz deutlich über dem Niveau der Ertragsstapel. Auffällig ist der kontinuierliche Anstieg der Jahringbreite während der 65jährigen Beobachtungszeit.

Ziel der Untersuchung ist die Quantifizierung der Dimensionsentwicklung von Krone und Stamm in Abhängigkeit von der Durchforstungsstärke. Vor allem die Eingriffe zu Versuchsbeginn kennzeichnen die Eingriffsstärke. Diese bedingen eine typische Vorratshaltung. Bei gleichem BHD werden auf den Parzellen mit starker Hochochforstung deutlich größere Kronen gebildet. Die vorherrschenden Bäume haben auf allen Parzellen trotz sehr unterschiedlicher Bestandesdichte relativ ähnliche Kronenzwerte, während sich für die mitherrschenden Bäume starke Unterschiede ergeben. Die Kronenentwicklung wird durch starke Eingriffe stärker gefördert als die Durchmesserentwicklung. Auch die schwach durchforsteten Bestände zeigen eine bemerkenswerte Durchmesserentwicklung. Die Jahringbreiten liegen seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts auch hier über 2 mm/Jahr. Im Vergleich dazu leisten die Bäume auf den stark durchforsteten Parzellen einen um 10 bis 20 % höheren Durchmesserzuwachs. Die periodischen Schwankungen der Jahringbreite sind auf den stark durchforsteten Parzellen stärker ausgeprägt. Besonders auffällig ist der Zuwachsanstieg auf allen Parzellen seit den 80er Jahren. Insgesamt kann ein allgemein steigender Zuwachs und eine darüber hinausgehende Zuwachsstärkung am Einzelbaum durch die Durchforstung identifiziert und quantifiziert werden.

Auf Basis der im Jahr 1999 erreichten Dimensionen wird die künftige Wertentwicklung der Bestände mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 berechnet und eine Abschätzung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher Eingriffsstärken vorgenommen. Als Ergebnis zeigt sich, dass der Durchmesserzuwachs von stark durchforsteten Beständen am Ende der Umtriebszeit 5 bis 10 cm beträgt. Die Umtriebszeit kann bei gleichem Zieldurchmesser auf Wertholzstandorten um 30 bis 50 Jahre verkürzt werden. Bei der Betrachtung der Wertleistung der Bestände wird deutlich, dass eine ausreichende Anzahl von Erntebäumen die Grundvoraussetzung für eine hohe Wertleistung sind.

**Schlüsselwörter:** Durchforstungsversuch, Eiche, Wachstumstrend, Standardökonomie, Wertleistung.

### Summary

The trial plots 'Waldleiningen 88' were established by Professor FABRICIUS in 1934, when the stand was 48 years. The plots are located near the city of Kaiserslautern in the southern part of the Pfälzer Forest. The site is characterized by favorable climate, average nutrient supply, and sufficient precipitation during the vegetation period.

The yield potential of the investigated oak stands proved to be exceptionally high. Density measurements of unthinned stands showed maximum values of 40 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. The current growth rate is considerably higher than suggested by yield table estimates, which seems to be a stable or even an increas-

ing phenomenon. It is striking that the annual ring growth increases continuously throughout the 65 years' observation period.

The aim of the investigation was to quantify the development of crown- and stem-dimensions in dependence on thinning intensity. The degree of thinning in the early stages of the stands was most important for the further development. Given the same diameter at breast height (dbh), crown sizes are considerably larger on plots with intensive thinnings compared to unthinned controls. The diameter growth on intensively thinned plots is increased for the remaining trees by 10 to 20 %. However, we found that intensive thinning enhanced crown size development to a greater degree than stem diameter growth, because of a remarkable annual ring growth of more than 2 mm per year, even on the control plots. Also, the variation in annual ring growth between the years was larger on the plots subjected to intensive thinnings. Overall, it is concluded that the growth of the oak stands is increased, especially since the 80ties of the past century, and that this increase can be enhanced on a single tree basis by intensive thinnings.

Using the measured dimensions in the year 1999 as initial values, we calculated the development of the economic value of the oak stands with the forest growth simulator SILVA 2.2, and estimated the effect of different thinning intensities. It is estimated that the mean dbh of intensively thinned stands will exceed that of the controls by 5 to 10 cm at the end of the rotation period. Assuming that the time of harvesting depends on a certain tree diameter, this means that the length of the rotation could be decreased by 30 to 50 years. In order to maintain a high economic value, however, it is necessary to keep a sufficiently high number of trees per area.

**Keyword:** Thinning experiment, oak, growth trend, crown dimension and stand density, economic value.

### 1 Einleitung

Die langen Produktionszeiträume für Eichenwertholz haben bewirkt, dass Eichenbestände in der Regel sehr zurückhaltend durchforstet wurden. Dies liegt nicht zuletzt auch an der starken Tendenz der Eiche zur Selbstdifferenzierung, die bereits GAYER (1898) als charakteristisch beschrieb. Es gibt im Vergleich zu anderen Baumarten in Eichenbeständen nur relativ wenige Versuche zur Frage der Durchmesser- und Qualitätsentwicklung bei unterschiedlichen Eingriffsstärken. Diese langfristig beobachteten Versuche wurden und werden aber umso intensiver ausgewertet, um Fragen nach der optimalen Durchforstungsstrategie, nach der maximalen Steigerung des Durchmesserwachstums oder nach dem Risiko der Wasserreiserbildung zu beantworten (z. B. FABRICIUS 1933, MAYER 1957, MOSANDL, EL KATEB und ECKER 1991, SCHWAPPACH 1920, SPELLMANN und V. DIEST 1990, SPIECKER 1991, UTSCHIG, BACHMANN und DURSKY 1993, PRETZSCH und UTSCHIG 1995).

Diese Versuche dienen auch zur Absicherung der in den Ertragsstapeln niedergelegten Behandlungsprogrammen für die Eiche (JÜTNER 1955 und ZIMMERLE 1930). Grundlegende Arbeiten u. a. von MAYER (1957) und SPIECKER (1991) haben sich mit der optimalen Durchforstung der Eiche auf der Basis zusammenfassender Versuchsflächenauswertungen beschäftigt. Insbesondere die Frage, wie sich die Jahringbreite auf typischen Traubeneichenstandorten mit mittlerer Nährstoffversorgung durch starke Durchforstungen steigern lässt und wie die Standardökonomie der Eiche dabei zu bewerten ist, wird jedoch immer noch sehr gegensätzlich diskutiert. Die Auswertung des seit 65 Jahren beobachteten Durchforstungsversuches Waldleiningen 88 soll zur Klärung dieser Fragestellung beitragen.

### 1.1 Lage und Standort

Die Versuchsfläche liegt in der Nähe von Kaiserslautern im Südlichen Pfälzer Wald auf einer Höhenlage von 420–440 m. Der Standort ist eine mäßig frische Braunerde des oberen Buntsandsteines, nur auf Parzelle 1 ist die Wasserversorgung eher als mäßig trocken anzusehen. Die Jahresniederschläge erreichen 700 bis 850 mm, der Niederschlag in der Vegetationszeit liegt zwischen 300 und 350 mm. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 7–8 °C, die Mitteltemperatur in der Vegetationszeit 14–15 °C. Das Klima ist deutlich subatlantisch geprägt. Die Hangneigung auf der Versuchsfläche liegt zwischen 8 und 21 Grad.

Der Standort ist durch ein günstiges Klima, eine für die Eiche relativ gute Nährstoffversorgung und ausreichenden Niederschlag in der Vegetationszeit gekennzeichnet. Die mäßige Bodenfrische beschreibt einen typischen Eichenstandort.

## 1.2 Versuchskonzept

Der Versuch Waldleiningen 88 wurde im Jahr 1934 in einem Bestandesalter von 48 Jahren durch Professor FABRICIUS angelegt. Versuchsziel war die Prüfung des Einflusses verschiedener Durchforstungsarten und -stärken auf Leistung, Struktur und Wasserreiserbildung von Traubeneichenbeständen. In den letzten 10 Jahren wurde über diese Frage hinaus auch die Wirkung der Behandlung auf die Bestandesstruktur und das Einzelbaumwachstum untersucht. Die Informationen aus diesen Flächen werden auf diese Weise für die Parametrisierung von Wuchsmodellen für die Baumart Eiche erschlossen.

Im Jahr 1999 hat der Versuch Waldleiningen 88 ein Alter von 113 Jahren erreicht. Die Beobachtungszeit beträgt 65 Jahre. Das Versuchskonzept umfasst zwei Parzellen (Parz. 2 und 5) mit der Behandlungsvariante schwache Niederdurchforstung, die Parzellen 1 und 4 auf denen eine mäßige Hochdurchforstung praktiziert wird und die Parzellen 3 und 6, die eine stark Hochdurchforstung erfahren (Abb. 1). Bisher wurden 11 ertragskundliche Aufnahmen (1934, '42, '52, '59, '66, '74, '78, '83, '89, '94 und '99), 6 Qualitätsansprachen ('36, '42, '52, '58, '78 und '94) und 3 Kronenablotungen ('52, '78 und '94) durchgeführt.

Auf allen Versuchspartellen wurde die Hochdurchforstung in Form einer stufenweisen Auslesedurchforstung mit mäßiger bzw. starker Förderung der jeweils bestveranlagten Eichen ausgeführt. Die angestrebte Staffelform der Grundflächenhaltung zwischen schwach-

## Waldleiningen 88

Abt. VI 6b Leiterberghalde

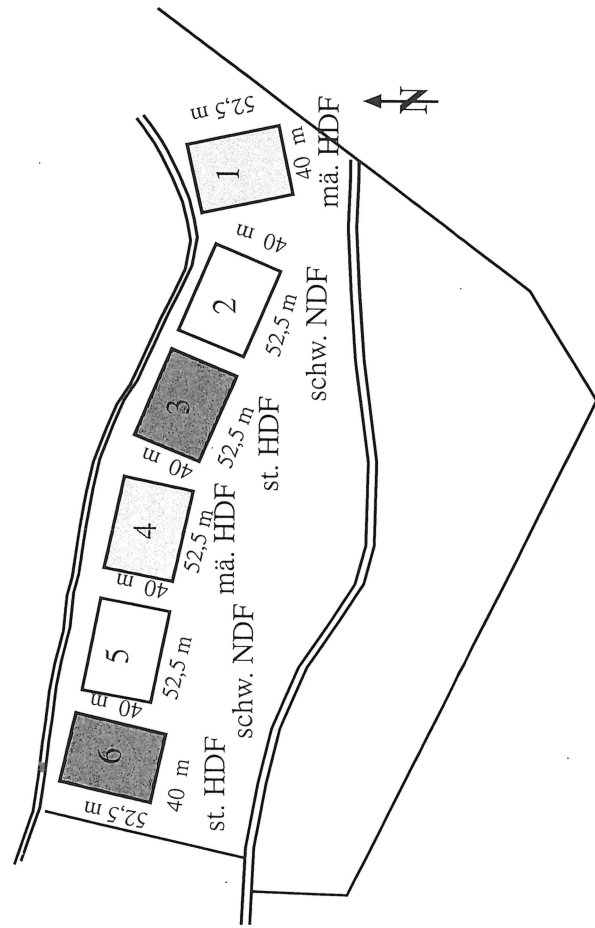


Abb. 1. Lageplan der Versuchsfläche Waldleiningen 88.

Fig. 1. Site map of the long-term experimental plot Waldleiningen 88.

cher Niederdurchforstung, mäßiger Hochdurchforstung und starker Hochdurchforstung von 100:70:50 % wurde durch Kalamitäten (unkontrollierte Holzentnahme nach dem 2. Weltkrieg, Windwurf 1990 auf Parzelle 2) wiederholt gestört. Bei der Aufnahme im Jahr 1999 wurde das Durchforstungskonzept dahingehend geändert, daß die Festlegung einer prozentischen Durchforstungsstärke aufgegeben wurde. Die Eingriffsart wurde jedoch beibehalten. Das führt jetzt dazu, dass die Eingriffe auf den stark hochdurchforsteten Parzellen eher schwächer und auf den schwach hochdurchforsteten Parzellen wie bisher fortgesetzt werden. Ein Festhalten an der Staffelform würde auf den Parzellen mit starker Hochdurchforstung die Dichte unverhältnismäßig stark absenken.

Parzelle 1 (mäßige Hochdurchforstung) stockt auf einem etwas ungünstigeren Standort. Auf Parzelle 6 (starke Hochdurchforstung) sind während der Beobachtungszeit einzelne vorherrschende Eichen ausgefallen und einige herrschende Buchen mindern die Zuwachslleistung des Eichenanteiles. Parzelle 2 (schwache Niederdurchforstung) ist durch einen Windwurf flächig geschädigt worden. Deshalb sinken hier die Leistungsgrößen nach 1991 stark ab.

## 2 Ertragskundliche Basisdaten

Die Ertragskundliche Auswertung im Winter 1999/2000 umfaßt alle Versuchsaufnahmen seit 1934. Die Durchmesserhebungen, die Ausschneidungskennungen und die Höhenmessungen wurden im Anhalt an die DESER-Norm (JOHANN 1993) vor der Auswertung auf Plausibilität geprüft und wo nötig ergänzt oder korrigiert.

**Höhenentwicklung:** Auf Abbildung 2 ist die Höhenentwicklung des Grundflächenmittelstammes im Vergleich zu den Ertragsstafeln JÜTTNER (1955) m.ä. Df. und ZIMMERLE (1930) dargestellt. Die Höhenentwicklung der Parzelle 1 weicht deutlich von der Höhen-

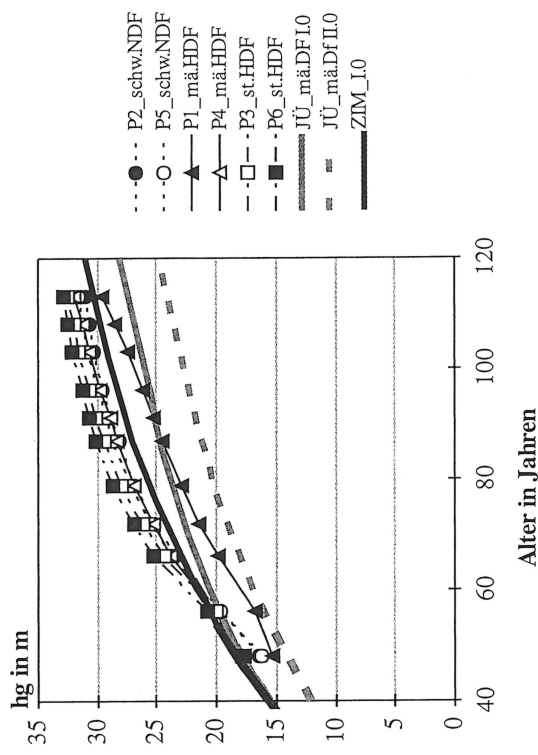


Abb. 2. Höhenentwicklung des Grundflächenmittelstammes auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 über dem Alter im Vergleich zur Eichen-Ertragsstafel JÜTTNER (1955), m.ä. Df., I. und II. Bonität und der Eichen-Ertragsstafel ZIMMERLE (1930), Bonität I.0.

Fig. 2. Development of the mean height on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 as a function of age compared to the oak-yield table of JÜTTNER (1955), moderate thinning, yield classes I and II. and ZIMMERLE (1930), yield class I.0.

Entwicklung der dichten Parzellen ab. Auf Parzelle 1 ändert sich der Standort, er ist dort trockener und flachgründiger. Alle Parzellen zeigen während der 65jährigen Beobachtungszeit im Vergleich zu den verwendeten Ertragsstafeln einen kontinuierlichen Anstieg in der Höhenbonität um eine Bonitätsstufe. Insgesamt wird die Steigung der Höhenwachstumskurven der Versuchparzellen durch die Ertragsstafel ZIMMERLE (1930) wesentlich besser abgebildet, als durch die Ertragsstafel JÜTTNER (1955). Die Ertragsstafel von ZIMMERLE (1930) hat jedoch u. a. wegen der in ihr unterstellten starken Grundflächenabsenkung keine große Verwendung in der Praxis gefunden (ASSMANN 1961).

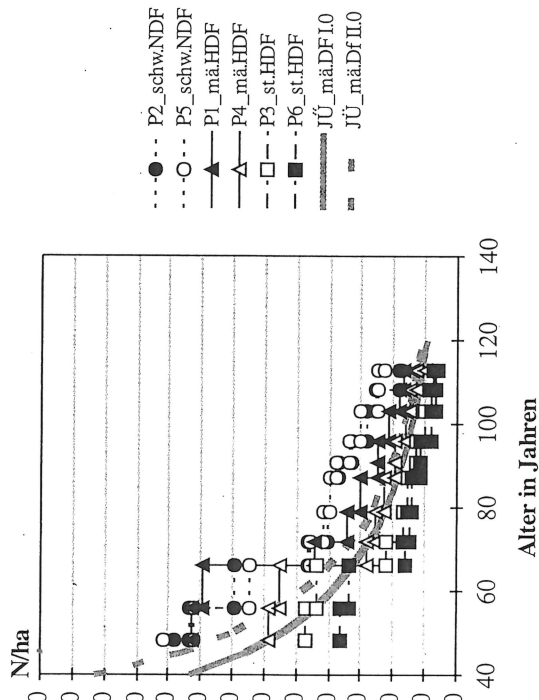


Abb. 3. Entwicklung der Stammzahlen auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 über dem Alter im Vergleich zur Eichen-Ertragsstafel JÜTTNER (1955), mä. Df. I. und II. Bonität.

Fig. 3. Development of the stem number on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 as a function of age compared to the oak yield table of JÜTTNER (1955), moderate thinning, yield classes I. and II.

**Stammzahlentwicklung:** Die Stammzahl nimmt mit zunehmendem Bestandesalter deutlich ab (Abb. 3). Mit Ausnahme der stark hochdurchforsteten Parzellen, auf denen die Stammzahlhaltung der ersten Bonität unterschritten wurden, liegen die Stammzahlen deutlich über den Vorgaben der Tafelwerte für die erste Bonität. Im Alter von 113 Jahren stehen auf Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) noch 457, auf Parzelle 4 (mäßige Hochdurchforstung) noch 200 und auf Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) noch 138 Eichen. Im Vergleich dazu liegen die Stammzahlen für die Ertragsstafel JÜTTNER I. Bonität für die mäßige Durchforstung bei 217 und für die starke Durchforstung bei 167 Bäumen.

**Grundflächenentwicklung:** Die Grundflächenentwicklung (Abb. 4) liegt außer bei den starken Hochdurchforstungen deutlich über den Ertragsstafelangaben. Die schwach niederdurchforsteten Parzellen 2 und 5 nähern sich im Alter von 80 bis 90 Jahren offenbar der standorttypischen maximalen Grundfläche und schwanken seitdem zwischen 36 und 42 m<sup>2</sup>/ha. In diesem hohen standorttypischen Leistungsvermögen ist die Ursache dafür zu sehen, dass bei mäßiger Hochdurchforstung (Absenkung um 30 % der Referenzgrundfläche der schw. NDF) die Grundflächen zeitweise noch über den Ertragsstafelwerten von JÜTTNER (1955) für die mäßige Durchforstung liegen. Die starken Eingriffe (Absenkung um 50 % der Referenzgrundfläche der schw. NDF) bewirken eine Grundflächenhaltung,

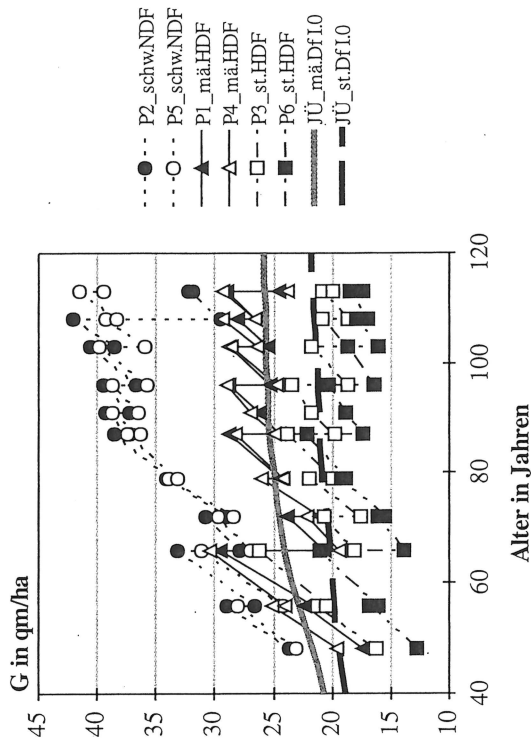


Abb. 4. Entwicklung der Grundfläche des verbleibenden Bestandes auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 über dem Alter im Vergleich zu den Eichen-Ertragsstafeln JÜTTNER (1955), mä. Df. und st. Df. I. Bonität.

Fig. 4. Development of the basal area on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 as a function of age compared to the oak yield table of JÜTTNER (1955), moderate thinning, yield classes I. and II.

die zu einer deutlichen Unterschreitung der Grundflächenhaltung für die starke Durchforstung nach JÜTTNER (1955) führt. Deshalb wird künftig Abstand von dieser Art der Verstandssteuerung genommen und eine Hochdurchforstung ohne definierte Grundflächenstaffelung praktiziert.

**Vorratsentwicklung:** In der Vorratsentwicklung kommt die hohe Ertragsleistung des Versuches Waldleiningen 88 noch deutlicher zum Ausdruck. Die Vorräte des verbleibenden Bestandes steigen bei der schwachen Niederdurchforstung im Alter von 113 Jahren auf 655 VfmD/ha an und lassen kein Einschwenken der Entwicklungskurven erkennen. Die Erwartungswerte der Ertragsstafel JÜTTNER (1955) mä. Df. I. Bonität werden damit um fast 100 % übertroffen. Entsprechend hoch ist auch das Niveau der Gesamtertragsleistung im Alter von 113 Jahren, das zwischen 714 (P6, starke Hochdurchforstung) und 944 (P5, schwache Niederdurchforstung) VfmD/ha liegt.

**Laufender periodischer Zuwachs:** Der laufende jährliche Zuwachs liegt im Betrachtungszeitraum durchschnittlich über den Erwartungswerten der Ertragsstafel von JÜTTNER (Abb. 5). Gleichzeitig liegen die Maximalwerte um 20 bis 70 % höher. Ein erster Kulminationszeitpunkt wird im Alter zwischen 70 und 80 Jahren erreicht. In der Folgezeit sinken die Zuwächse zunächst wieder ab. Entgegen dem zu erwartenden Alterstrend und unabhängig vom Durchforstungsgrad ist in den letzten 20 Jahren jedoch ein neuerlicher Zuwachsanstieg festzustellen. Insgesamt steigt der laufende Volumenzuwachs im Beobachtungszeitraum mit größeren Schwankungen leicht an, während die Ertragsstafel JÜTTNER einen langsamen aber kontinuierlichen Abfall des laufenden Volumenzuwachses prognostiziert. Die Schere zwischen tatsächlicher und prognostizierter Zuwachserleistung wird deshalb größer. Nur auf Parzelle 6 (starke Hochdurchforstung) sinkt der Zuwachs der Eiche in den letzten Jahrzehnten ab. Hier wirken sich einzelne Ausfälle von herrschenden Eichen und einig bei der Darstellung nicht berücksichtigte herrschende Buchen zu wachsmindernd aus.

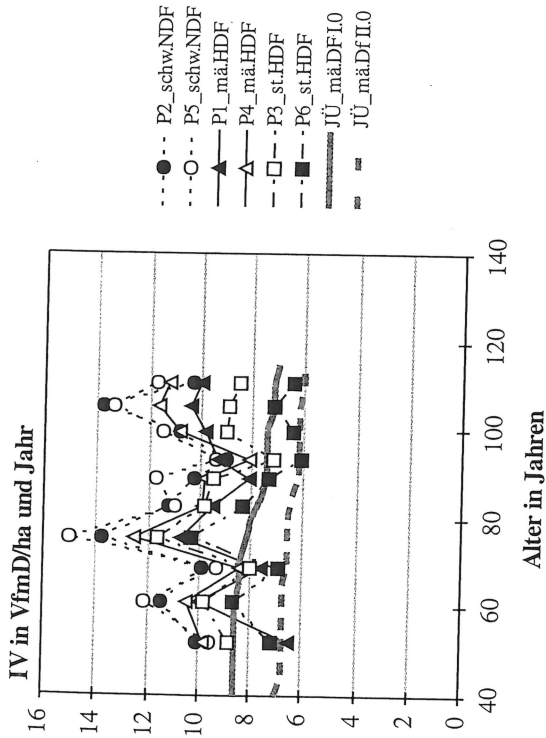


Abb. 5. Entwicklung des laufenden periodischen Volumenzuwachses auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 über dem Alter im Vergleich zur Eichen-Ertragstafel JÜTTNER (1955), mä. Df., I. und II. Bonität.

Fig. 5. Development of the annual increment on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 as a function of age compared to the oak yield table of JÜTTNER (1955), moderate thinning, yield classes I. and II.

### 3 Quantifizierung und Auswirkung der Durchforstungseingriffe

Das Durchforstungskonzept wird seit 1934 praktiziert. Es stellt sich die Frage, wie die Bäume in ihren Wachstumsgrößen auf die Durchforstung reagiert haben.

#### 3.1 Durchforstungseingriffe

Die Summe der Vornutzungen in den letzten 65 Jahren (Tab. 1) liegt zwischen 274 (P5, schwache Niederdurchforstung) und 492 (P3, starke Hochdurchforstung) VfmD/ha. Die hohe Vornutzung auf Parzelle 2 (schwache Niederdurchforstung) ist durch einen Windwurf im Jahre 1990 bedingt. Die Vornutzung der mäßigen und starken Hochdurchforstung liegt im Mittelwert relativ nahe zusammen. Betrachtet man die Vornutzungsmenge bis zum Alter 70, so sind die Unterschiede etwas deutlicher ausgeprägt. Bei der starken Hochdurchforstung ist die Entnahmemenge zu Versuchsbeginn (1934) und im Jahr 1952 höher als bei der mäßigen Hochdurchforstung, dann gleichen sich die Entnahmesätze an. Parzelle 4 wurde im Jahr 1952 besonders stark durchforstet. Die ersten Eingriffe führen auf den Parzellen zu charakteristischen Grundflächenhaltungen (vgl. Abb. 6), die sich im Zuwachsverhalten auf den Parzellen widerspiegeln.

Die Stafflung der Grundfläche in Relation zur schwachen Niederdurchforstung (= 100 %) beschreibt die Eingriffsstärke (Abb. 6). Als Basis wurde nur die Parzelle 5 herangezogen, weil die Bestandesentwicklung auf Parzelle 2 seit 1990 durch Sturmeeinwirkung gestört ist. Mit zunehmender Versuchsdauer wird die Stafflung der Grundfläche immer deutlicher. Ab einem Alter von 66 Jahren liegt auch die Grundflächenhaltung auf den Parzellen mit mäßiger Hochdurchforstung deutlich unter jener der schwachen Niederdurchforstung. Die bei der starken Hochdurchforstung verwirklichte Grundflächenabsenkung

Table 1. Vornutzungsmengen auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 von 1934 bis 1999. Dargestellt sind die Aufnahmegahre (Jahr), die dazugehörigen Bestandalter (A) und die Entnahmemengen (VA) in VfmD/ha. Im rechten Teil der Tabelle wird die Summe der Vornutzungen während der 65jährigen Beobachtungszeit (Su) und der zehnjährige Durchschnitt für den Gesamtzeitraum (Mittel) und für zwei Altersperioden, bis zu einem Bestandalter von 72 Jahren (bis 72) und über 72 Jahren (nach 72) ermittelt.

Table 1. The harvested stem volume on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 from 1939 to 1999. The presentation shows the survey years (Jahr), the age of the stand (A), the harvested stem volume during the period (VA) in cubic meter timber above a diameter of 7 cm. The right side of the table presents the total harvested stem volume during the 65 years' observation (Su) and the average harvested wood volume per decade in total (Mittel) and separate for two different age classes. The periods are separated into below age 72 (bis 72) and older (nach 72).

schw. NDF	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	Su		Mittel	bis 72J	nach 72J	
															48	56				
Wa188_2	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	28	4	388	60	35	74
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	13	113	4	108	113
Wa188_5	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	28	42	274	34	46	46
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	34	113	113
ma. HDF	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	22	64	378	58	56	58
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	58	56	58
Wa188_1	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	22	64	378	58	56	58
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	58	56	58
Wa188_4	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	22	64	378	58	56	58
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	58	56	58
st. HDF	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	15	113	492	76	93	64
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	93	93	64
Wa188_3	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	15	113	492	76	93	64
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	93	93	64
Wa188_6	Jahr	A	VA	1934H	1942H	1952H	1958H	1965H	1973H	1977H	1982H	1989H	1994H	1999H	20	113	392	60	74	51
				48	56	66	72	79	87	91	96	103	108	113	113	113	113	74	74	51



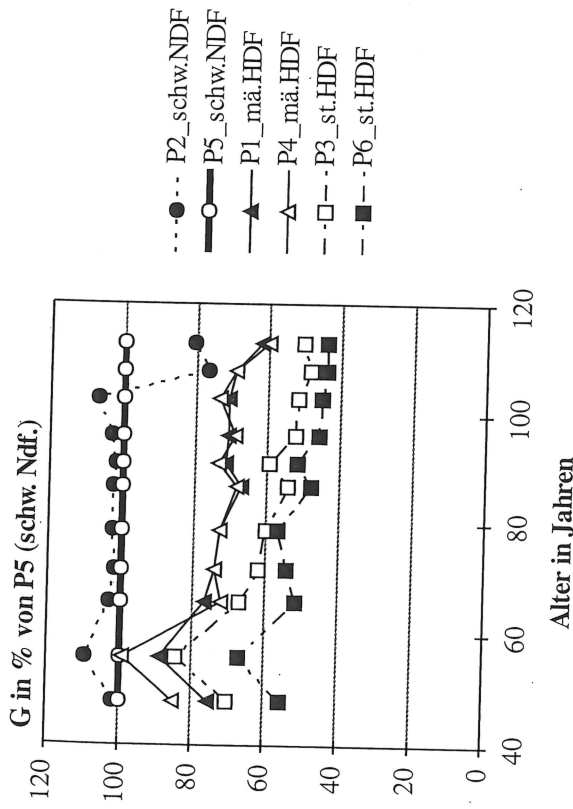


Abb. 6. Grundfläche des verbleibenden Bestandes der Parzellen auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 über dem Alter in Relation zur Grundflächenentwicklung auf der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) als 100 %-Linie.

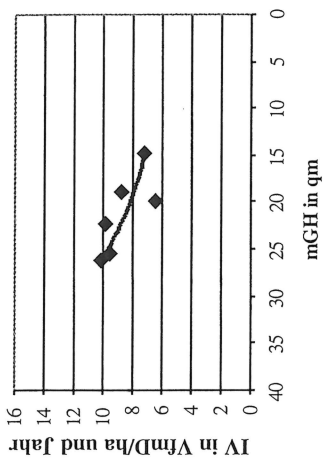
Fig. 6. Basal area of the remaining stand of the long-term experimental plot Waldleiningen 88 in relation to the basal area of plot 5 (slight thinning from below) as set as 100 %.

von 50 % liegt weit unterhalb des Bereiches der kritischen Grundflächenhaltung, wie ASSMANN (1961) sie für die Eiche beschreibt. Die zur Versuchssteuerung herangezogene Grundflächenhaltung wurde im Zuge einer Hochdurchforstung realisiert. Die gewünschte Grundflächenstaffelung von 100:70:50 % im Bezug zur schwachen Niederdurchforstung wurde erst im Alter von 80 Jahren erreicht, sonst wären die Eingriffe für eine mäßige Hochdurchforstung zu stark gewesen. Werden die Vornutzungsmengen, wie sie in Tabelle 1 aufgeführt sind, mit Abbildung 6 verknüpft, so zeigt sich die große Bedeutung der ersten Eingriffe für die Steuerung der Bestandesentwicklung.

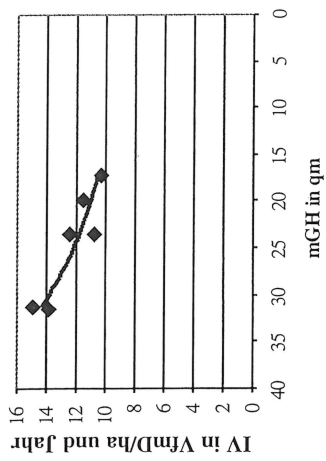
### 3.2 Standflächenproduktivität

Für die Beurteilung der Auswirkungen der Durchforstung stellt sich die Frage: Wie reagieren die Bestände auf den Parzellen auf die Durchforstung mit ihrem flächenbezogenen Zuwachs? Für die Beurteilung eignet sich besonders die Betrachtung der Zuwachsleistung über der mittleren Grundflächenhaltung (mGH) in einzelnen Beobachtungsperioden. Für 4 ausgewählte Zuwachsperioden sind auf Abbildung 7 die Zuwachsreaktionen dargestellt. Der Zuwachs liegt in den einzelnen Zuwachsperioden auf unterschiedlichem Niveau. Allen Zeiträumen ist gemeinsam, dass der Zuwachs mit abnehmender Grundflächenhaltung absinkt. Der Zuwachs nimmt zunächst langsam ab, er liegt bei einer Grundflächenabsenkung um 30 Prozent bei 10 bis 20 %. Danach fällt er stärker ab und kann bei einer Grundflächenabsenkung um 50 Prozentpunkte flächenbezogene Zuwachsverluste von 35 bis 50 % erreichen. Im Alter von über 100 Jahren sinkt der Zuwachs unterhalb einer mittleren Grundflächenhaltung von 20 m<sup>2</sup> stark ab. Die Variation der mGH im Versuchsprogramm führt im Untersuchungszeitraum zu Unterschieden in der Gesamtwachstumleistung von bis zu 200 VfmD. Die vorgestellten Zuwachs-Reaktionsmuster zeigen eine für die Lichtbaumart Eiche unerwartet hohe Wachstumselastizität.

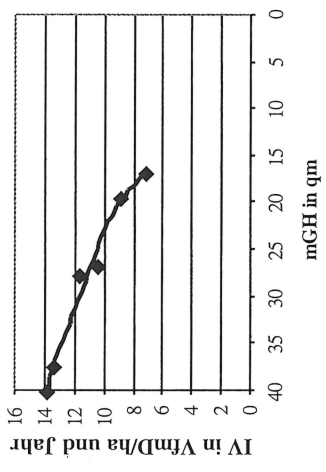
1936-42 A=48-56 Jahre



1959-65 A=73-79 Jahre



1990-94 A=104-108 Jahre



1995-99 A=109-113 Jahre

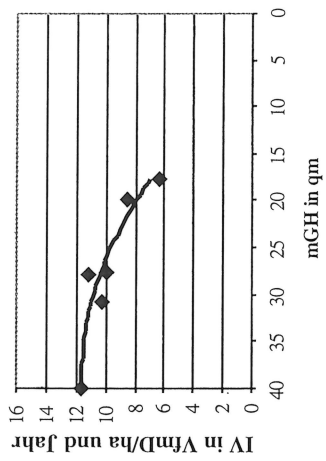


Abb. 7. Der laufende periodische Volumenzuwachs auf den Parzellen der Versuchsfläche Waldleiningen 88 in Abhängigkeit von der mittleren Grundflächenhaltung (mGH) für die Zuwachsperioden 1936-42 (links, oben), 1959-65 (rechts, oben), 1990-94 (links, unten) und 1995-99 (rechts, unten). Zusätzlich ist eine polynomische Ausgleichsfunktion für jeden Zeitraum eingetragen.

Fig. 7. The annual increment of the long-term experimental plot Waldleiningen 88 in relation to the periodic mean basal area (mGH) for the increment periods 1936-42 (left, top), 1959-65 (right, top), 1990-94 (left, bottom) und 1995-99 (right, bottom). Additionally, a polynomial regression line for each period is shown in the figure.

### 3.3 Kronendimension

Neben der flächenbezogenen Betrachtung ist von Interesse, wie die einzelnen Bäume auf die unterschiedliche Freistellung reagieren. Abbildung 8 zeigt für die schwache Niederdurchforstung und die starke Hochdurchforstung die Kronendimensionen der einzelnen Bäume im Jahre 1994. Auf der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) sind viele kleine Kronen und einige große Kronen vorhanden. Es treten einzelne Kronenüberlappungen auf. Auf Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) stehen nur relativ wenige Bäume mit zum Teil sehr großen Kronen. Im Bestand sind größere Teile unbeschirmt. Dies nutzt der auf den Flächen vorhandene, aber auf Abbildung 8 nicht eingezeichnete Buchenunterstand zu verstärktem Wachstum.

Werden die Kronendurchmesser über dem Brusthöhendurchmesser regressionsanalytisch ausgeglichen (Abb. 9), so zeigt sich bei der starken Hochdurchforstung ein wesentlich stärkerer Anstieg des Kronendurchmessers mit zunehmendem Brusthöhendurchmes-

### 3.4 Konkurrenzverhältnisse in den Beständen

Mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 wurden auf der Basis der Stammverteilung im Jahre 1994H für jeden Baum dessen individuelle Nachbarschaftsverhältnisse untersucht. Für jeden Baum wird der Konkurrenzwert KKL berechnet, der ein Maß für die Kronenkonkurrenz um Licht darstellt (KAHN und PRETZSCH 1997). In die Berechnung gehen Entfernung und Dimensionsgrößen der Konkurrenten, die Größenrelationen zum Bezugsbaum und die Richtung der Konkurrenten ein. Werden diese KKL-Werte in Abhängigkeit vom BHD aufgetragen, so zeigt sich, dass mit zunehmendem BHD-Wert des Untersuchungsbaumes dessen KKL-Wert deutlich zurückgeht (Abb. 10). Dies gilt unabhängig von der Eingriffstärke. Auffällig ist, dass die bei der schwachen Niederdurchforstung noch vorhandenen dünnen Bäume sehr hohe KKL-Werten aufweisen.

### 3.5 Durchmesserentwicklung

Die Durchmesserentwicklung der 100 stärksten Stämme/ha auf den Versuchspartellen entspricht mit Ausnahme der Parzelle 1 etwa einer mittleren Jahringbreitenentwicklung von 2 mm pro Jahr (Abb. 11). Damit können Zieldurchmesser von 80 cm in etwa 200 Jahren erreicht werden. Diese Zuwachsraten charakterisieren Eichenbestände mit mittlerem bis hohem Leistungspotential. Die Durchmesserentwicklung des Grundflächenmittelstammes der Oberhöhenbäume (do) zeigt nur einen geringen Durchforstungseffekt. Durch die über 65 Jahre durchgeführte konsequente Hochdurchforstung kann der do nur um 6–10 % gegenüber der schwachen Niederdurchforstung gesteigert werden. Die im Vergleich zu den Ertragstafelwerten überdurchschnittliche Höhenentwicklung (Abb. 2) bei etwa ertragstafelgemäßer Durchmesserentwicklung weist auf die außerordentlich schlanken Schattfor-

men der untersuchten Traubeneichen hin.

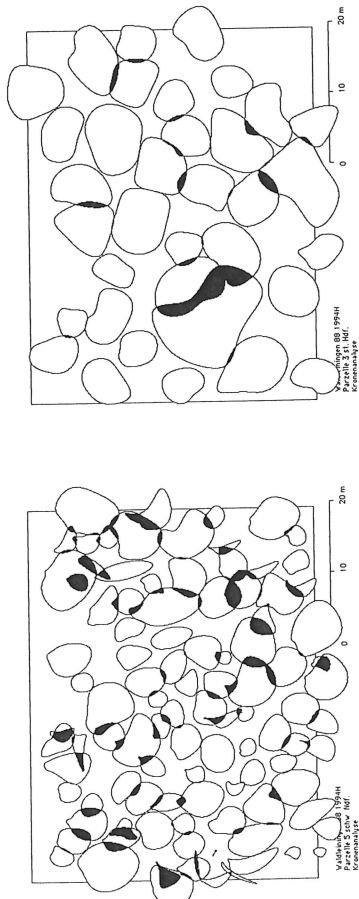


Abb. 8. Kronenkarte für die Versuchsfläche Waldleiningen 88 Parzelle 5 schwache Niederdurchforstung (links) und Parzelle 3 starke Hochdurchforstung (rechts), Aufnahme 1994 Herbst.  
 Fig. 8. Crown map of plot 5 "slight thinning from below" (left) and plot 3 "intensive thinning from above" (right) of the long-term experimental plot Waldleiningen 88, survey autumn 1994.

ser. Ein Baum mit 45 cm BHD hat bei der schwachen Niederdurchforstung einen Kronendurchmesser von 5,8 m und bei der starken Hochdurchforstung von 7,8 m. Das entspricht einer Kronengrundfläche von 26,4 m<sup>2</sup> bzw. 47,8 m<sup>2</sup> bei gleicher Dimension. Je größer der BHD wird, umso mehr weichen die Kronendurchmesser voneinander ab. Damit ist bei gleicher Dimension (BHD) des Baumes der besetzte Standraum bei einer starken Durchforstung wesentlich größer. Daraus kann auch abgeleitet werden, dass sich die Standraumökonomie bei unterschiedlich starker Durchforstung verändert.

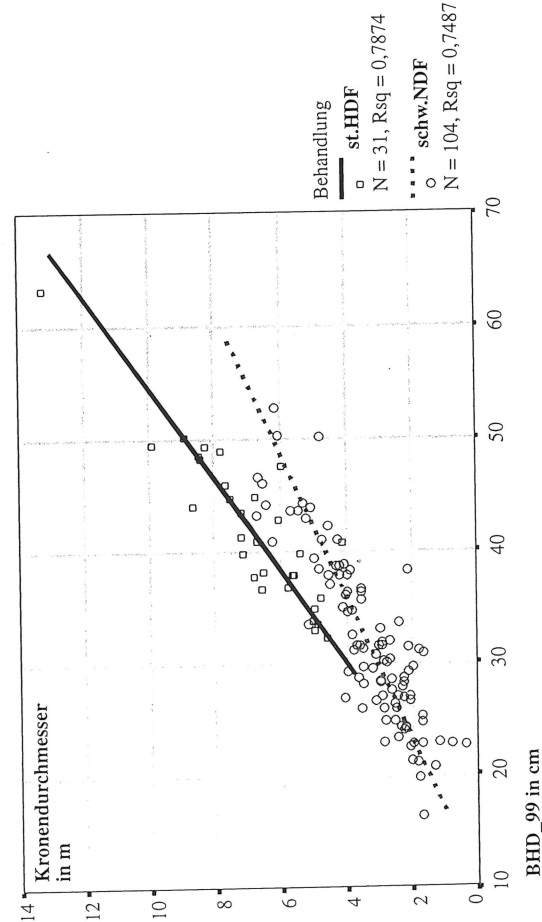


Abb. 9. Regressionsanalytischer Ausgleich der Kronendurchmesser für die Versuchsfläche Waldleiningen 88 Parzelle 5 schwache Niederdurchforstung (gestrichelte Linie) und Parzelle 3 starke Hochdurchforstung (schwarze Linie), Aufnahme 1994 Herbst.  
 Fig. 9. Regression line of crown diameter with diameter at breast height (dbh) as independent variable. Data from plot 5 "slight thinning from below" (dotted line) and plot 3 "intensive thinning from above" (black line) of the long-term experimental plot Waldleiningen 88, survey autumn 1994.

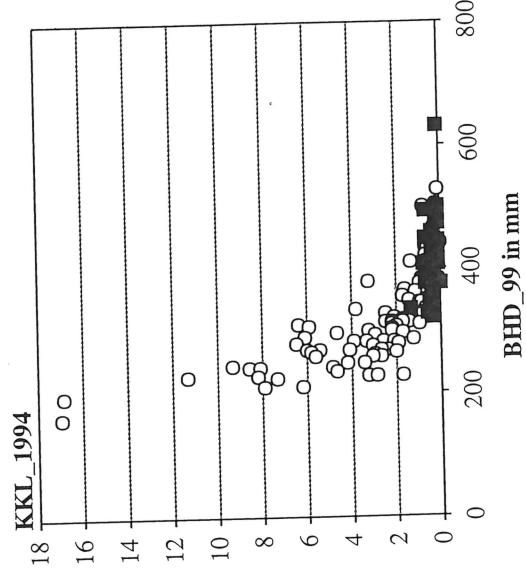


Abb. 10. Für die Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) und die Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) ist der Konkurrenzwert KKL über dem BHD des Jahres 1999 aufgetragen.  
 Fig. 10. The distribution of the competition index KKL for plot 5 "slight thinning from below" and plot 3 "intensive thinning from above" in relation to dbh of the year 1999.

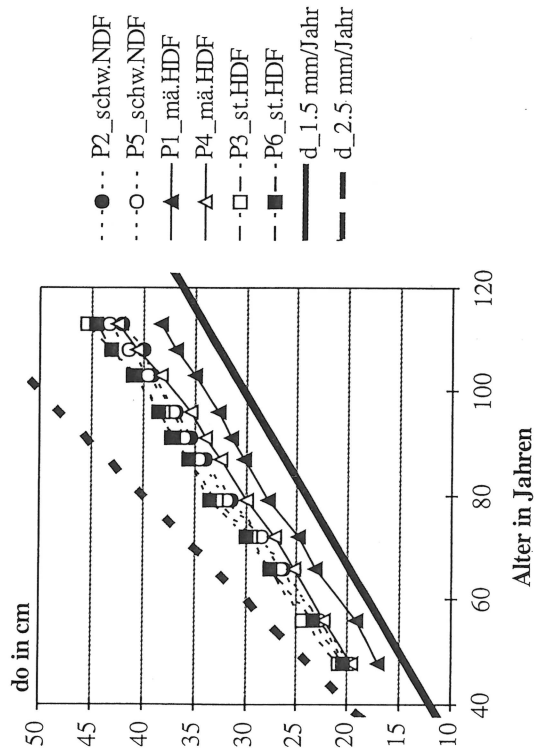


Abb. 11. Durchmesserwachstum der Oberhöhenstämme auf den Parzellen 1 bis 6 auf der Versuchsfläche Waldeinungen 88 ist über dem Alter dargestellt. Die durchgezogene Linie ( $d_{1.5}$  mm/Jahr) und die gestrichelte Linie ( $d_{2.5}$  mm/Jahr) beschreiben eine konstante Jahringbreitenentwicklung von 1,5 mm/Jahr bzw. 2,5 mm/Jahr. Damit würde ein Zieldurchmesser von 80 cm bei einem Alter von 266 bzw. 160 Jahren erreicht.

Fig. 11. Diameter growth of the 100 trees with the largest diameter per hectare on plots 1–6 of the long-term experimental plot Waldeinungen 88 in relation to age. The black line ( $d_{1.5}$  mm/Jahr) and the dotted line ( $d_{2.5}$  mm/Jahr) describe a constant diameter increment of 1.5 mm/year and 2.5 mm/year respectively. At these annual increment rates a final diameter of 80 cm could be produced in 266 and 160 years, respectively.

#### 4 Erklärungsansätze für die festgestellten Wachstumsreaktionen

##### 4.1 Konkurrenzsituation der 100 stärksten Stämme/ha

Auf Abbildung 12 ist die Verteilung der Konkurrenzwerte über dem BHD für die 100 stärksten Stämme/ha für die schwache Niederdurchforstung, die mäßige Hochdurchforstung und die starke Hochdurchforstung dargestellt. Es fällt auf, dass nur sehr wenige Oberhöhenbäume auf den Parzellen einen KKL-Wert über 1,0 haben und daß es einen breiten Überlappungsbereich zwischen den Behandlungsgraden gibt. Die Eiche als Lichtbaumart hat eine starke Tendenz zur Selbstdifferenzierung, das ist an den vorherrschenden Bäumen besonders gut zu erkennen. Die dicksten Bäume auf der Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) weisen sehr niedrige KKL-Werte auf. Die höchsten KKL-Werte sind auf den unbehandelten Parzellen im mittleren Durchmesserbereich zu finden.

Werden in einem zweiten Schritt die mittleren periodischen Jahringbreiten nach Durchforstungsgraden getrennt über dem KKL-Wert aufgetragen (Abb. 13), so ergibt sich ein breites Streuband von Zuwächsen bei gleichem KKL-Wert. Im Bereich eines KKL-Wertes von 0–0,5 sinken die Jahringbreiten von 2,7 bis 2,8 mm/Jahr auf 2,0 mm/Jahr ab, zwischen KKL-Werten von 0,5 bis 1,5 bleibt er dann relativ konstant bei Werten von 2 mm/Jahr. Insgesamt zeigen sich bei gleichen Konkurrenzverhältnissen sehr ähnliche mittlere Zuwachsreaktionen der Einzelbäume.

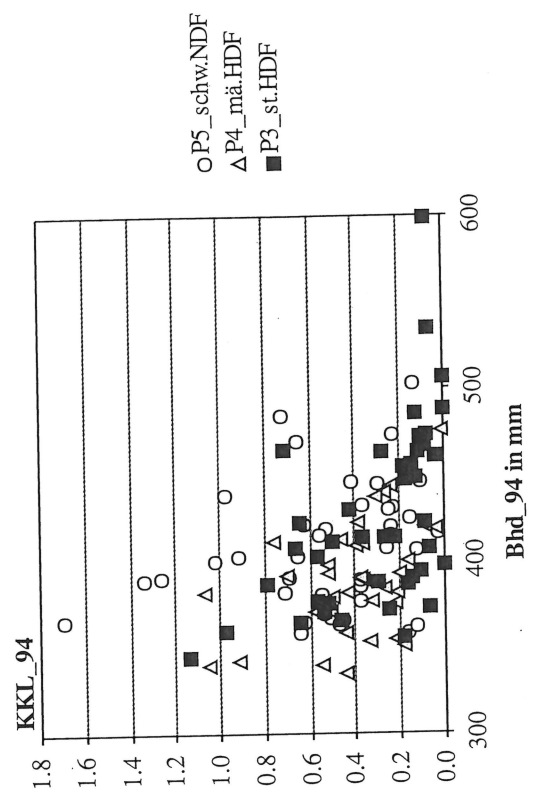


Abb. 12. Verteilung der KKL-Werte der Oberhöhenstämme bei der Aufnahme 1994H auf den Parzellen 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) über dem BHD im Jahre 1994H.

Fig. 12. Distribution of the competition index KKL of the 100 trees with the largest diameter per hectare on plot 5 “slight thinning from below”, plot 4 “moderate thinning from above”, and plot 3 “intensive thinning from above” of the long-term experimental plot Waldeinungen 88 in relation to the dbh of the survey in autumn 1994.

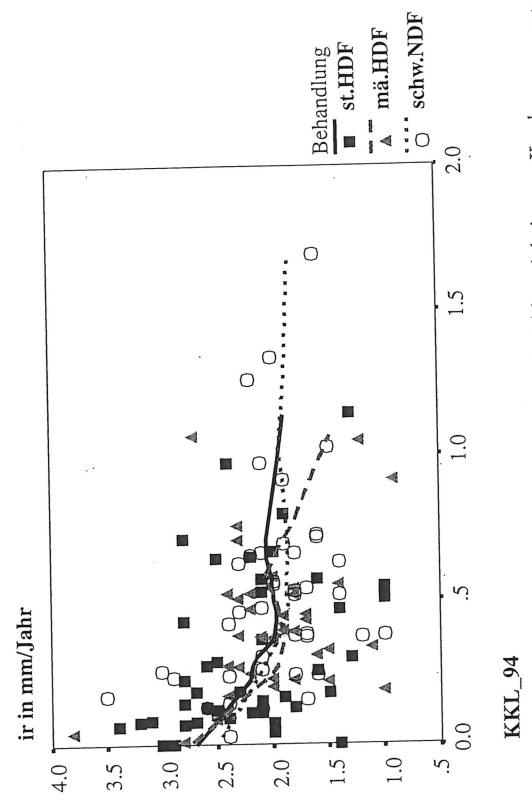


Abb. 13. Durchmesserzuwachs der Oberhöhenstämme in Abhängigkeit vom Konkurrenzwert KKL auf den Parzellen 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) in der Periode von 1994H bis 1999H. Ergänzend sind die mit einer partiellen Regression gebildeten Ausgleichskurven eingetragen.

Fig. 13. Diameter increment of the 100 trees with the largest diameter per hectare in dependence on the competition index KKL on plot 5 “slight thinning from below”, plot 4 “moderate thinning from above”, and plot 3 “intensive thinning from above” during the growth period 1994 (autumn) to 1999 (autumn). Additionally, the regression lines of the diameter developments are given.

#### 4.2 Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit von der Behandlung und dem Aufnahmezeitpunkt

Werden für die einzelnen Zuwachsperioden die Zuwachsraten der im Jahr 1999 zu den 100 stärksten Stämmen gehörenden Bäume retrospektiv betrachtet (Abb. 14), so ergibt sich folgendes Bild: In der Zuwachsperiode 1952H-1959F liegt der Radialzuwachs auf allen Parzellen zwischen 0,5 und 2,5 mm/Jahr, im Durchschnitt bei 1,6 mm/Jahr. In der darauf folgenden Zuwachsperiode von 1959F bis 1966F steigt der Radialzuwachs auf allen Parzellen deutlich an. Am stärksten ist dies auf der Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) ausgeprägt. Danach sinken die Zuwächse von Aufnahme zu Aufnahme bis zum Jahr 1983 wieder ab. Im Zeitraum 1978F-1983F wird das Zuwachsniveau der Periode von 1952H bis 1959F unterschritten. Nach dem Jahr 1983 ändert sich das Zuwachsverhalten sehr stark, die Jahrringbreiten steigen auf allen Parzellen deutlich an. Je höher die Eingriffsstärke um so länger bleibt der Radialzuwachs auf hohem Niveau. Die Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) ist seit 1983 die Parzelle mit den breitesten Jahrringen.

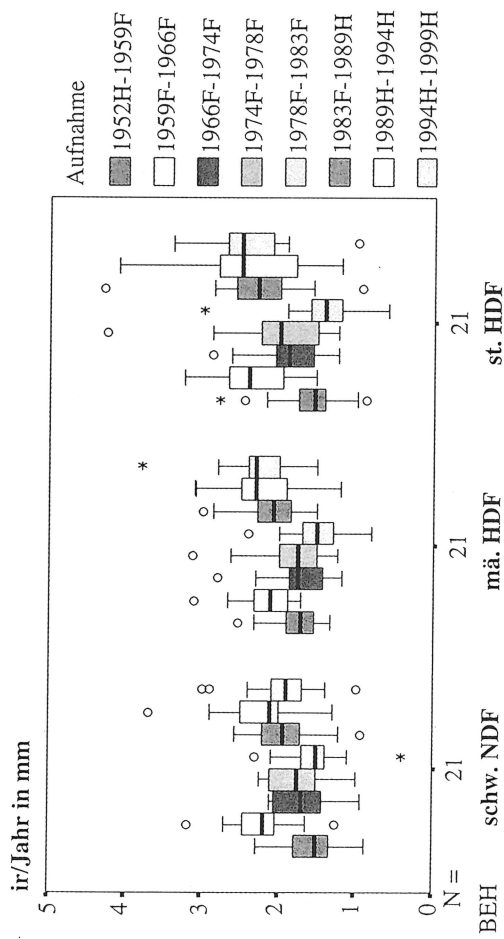


Abb. 14. Verteilung der durchschnittlichen Jahrringbreite der 100 stärksten Stämme/ha in den einzelnen Aufnahmeperioden von 1952 bis 1999 auf der Versuchsfäche Waldleiningen 88 Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung). Die Darstellung der Verteilung erfolgt als Box-plot, innerhalb der Box sind 50 % der Meßwerte, der schwarze Balken in der Box gibt den Median an, die Spannweite des Plots beschreibt den Bereich, in dem 95 % der Meßwerte liegen, Ausreißer (innerhalb der dreifachen Standardabweichung) werden mit Kreisen gekennzeichnet, Sterne markieren Extremwerte die außerhalb der dreifachen Standardabweichung liegen.

Fig. 14. Distribution of the annual diameter increment of the 100 trees with the largest diameter per hectare, split for the survey periods from 1952 to 1999 for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above" of the long-term experimental plot Waldleiningen 88. The results are described as boxplots, they show the median, interquartile range, outliers (circles), and extreme values (stars) of individual variables.

Abbildung 15 zeigt die Entwicklung der mittleren Jahrringbreite der 100 stärksten Stämme im Beobachtungszeitraum. Insgesamt fallen die geringen Unterschiede zwischen den Behandlungsgraden und der synchrone Verlauf der Kurven auf. Bemerkenswert ist, dass im Zeitraum 1978F-1983F die behandelten Parzellen auf das Niveau der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) absinken.

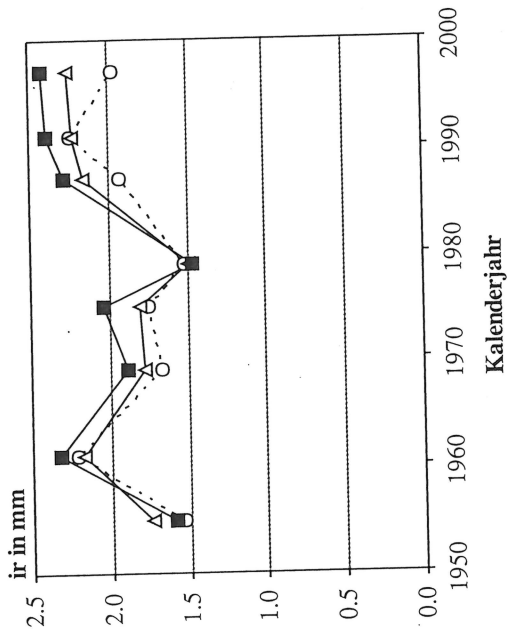


Abb. 15. Mittlerer Radialzuwachs/Jahr (arithmetisches Mittel innerhalb der Beobachtungsperioden) der 100 stärksten Stämme/ha über dem Kalenderjahr auf der Versuchsfäche Waldleiningen 88 Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung). Fig. 15. Mean annual ring increment (arithmetic mean of growth during the increment period) of the 100 trees with the largest diameter per hectare for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above" of the long-term experimental plot Waldleiningen 88.

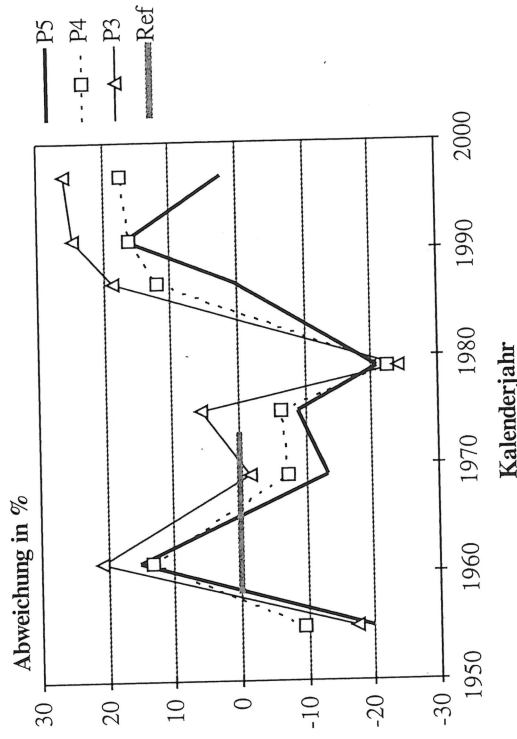


Abb. 16. Prozentuale Abweichung der mittleren Jahrringbreite (arithmetisches Mittel) der 100 stärksten Stämme/ha auf der Versuchsfäche Waldleiningen 88 Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung), Parzelle 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) im Vergleich zur Zuwachsperiode 1959-73 (Ref) der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung).

Fig. 16. Percentual deviation of the annual ring increment (arithmetic mean of growth during the increment period) of the 100 trees with the largest diameter per hectare for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above" of the long-term experimental plot Waldleiningen 88 with the increment period 1959-73 (Ref) of plot 5 "slight thinning from below" as reference.



Zur Klärung der Frage, wie viel Einfluss die Durchforstungsstärke auf die Jahrringbreitenentwicklung ausübt, wird das von PRETZSCH und UTSCHIG (1989) verwendete Wachstumstrendverfahren herangezogen. Damit können auf allen Flächen wirkende Wachstumstrends von behandlungsbedingten Effekten getrennt werden. Im ersten Schritt dienen die Zuwachsleistungen der Oberhöhenstämme der schwachen Niederdurchforstung zur Normierung der Jahrringbreitenkurven aller Parzellen. Auf Abbildung 16 werden die beiden Zuwachszeiträume 1959F–1966F und 1966F–1974F der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) als 100 %-Wert definiert. Die relativen Abweichungen der Parzellen 5, 4 und 3 zu diesem Bezugszeitraum werden aufgetragen. Es zeigt sich ein synchroner Verlauf der Jahrringbreitenentwicklung auf unterschiedlichem Niveau. Die Abweichungen der mittleren Jahrringbreiten von der Referenzperiode werden mit zunehmender Eingriffsstärke größer. Nur in der Beobachtungsperiode 1978F–1983F sinken die Jahrringbreiten auf allen Parzellen auf ein gemeinsames Minimum ab. Der Abfall ist auf den stärker behandelten Parzellen deutlicher ausgeprägt als auf Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung). Der sich daran anschließende Zuwachsanstieg seit 1983 ist auf allen Parzellen sehr stark ausgeprägt. Auch auf Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) steigen die Jahrringbreiten sehr deutlich an.

In einem zweiten Schritt werden nun die zuvor normierten Zuwachskurven am relativen Zuwachsverlauf der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) über den ganzen Betrachtungszeitraum erneut normiert. Abbildung 17 zeigt die Abweichung der mittleren Jahrringbreitenentwicklung der 100 stärksten Stämme/ha in Prozent von der Entwicklung der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung). Abbildung 17 beschreibt somit nur den behandlungsbedingten Zuwachsgewinn. Dabei fällt zunächst die mit großen Schwankungen stetig ansteigende Abweichung der Jahrringbreite der Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) von der Bezugsbasis auf. Die Schwankungen auf Parzelle 4 (mäßige Hoch-

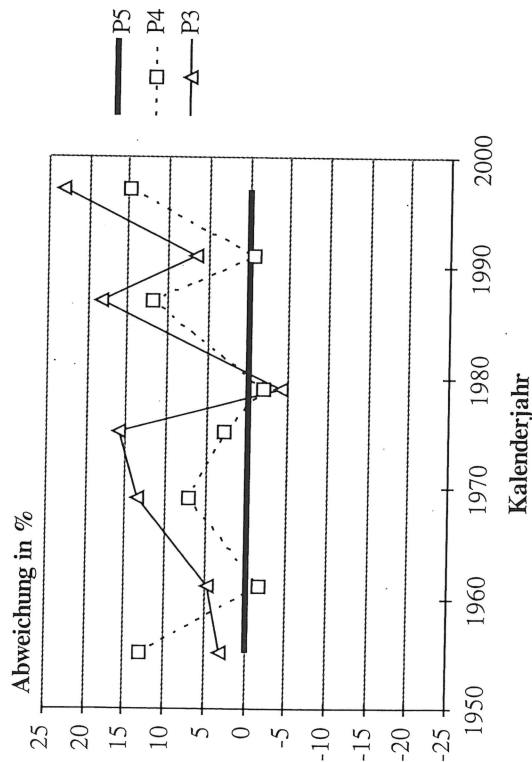


Abb. 17. Prozentische Abweichung der relativen Jahrringbreite (arithmetisches Mittel) der 100 stärksten Stämme/ha auf der Versuchsfäche Waldleiningen 88 der Parzellen 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung), vom Niveau der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung).

Fig. 17. Percent deviation of the annual ring increment (arithmetic mean of growth during the increment period) of the 100 trees with the largest diameter per hectare for plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above" of the long-term experimental plot Waldleiningen 88 relative to the increment of plot 5 "slight thinning from below".

durchforstung) verlaufen synchron, die positiven Abweichungen sind schwächer ausgeprägt. In guten Zuwachsperioden kann der Unterschied in der Jahrringbreitenentwicklung im Bezug zur Referenz der Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) 15–20 % betragen.

Table 2. Entwicklung der mittleren Durchmesser in cm für das Kollektiv der 100, 80 und 52 stärksten Bäume/ha auf der Versuchsfäche Waldleiningen 88 für Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung). In der rechten Hälfte der Tabellen ist der Unterschied in der Durchmesserentwicklung zwischen den Behandlungsgraden in absoluten Werten angegeben.

Table 2. Development of the mean diameter (cm) of the 100, 80 and 52 trees with the largest diameter per hectare for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above" of the long-term experimental plot Waldleiningen 88. On the right side of the table the difference between the thinning regimes is given in absolute values.

N = 100	schw. NDF		mä. HDF		st. HDF		mä. HDF		st. HDF	
	P5	P4	P4	P5	P3	P3	Diff_P3-P4	Diff_P3-P4	Diff_P3-P5	Diff_P3-P5
1952	25,9	23,9	23,9	-2,0	25,8	25,8	1,9	1,9	-0,1	-0,1
1983	36,5	34,9	34,9	-1,6	37,3	37,3	2,4	2,4	0,8	0,8
1999	43,4	42,4	42,4	-1,0	45,4	45,4	3,0	3,0	2,0	2,0
N = 80	schw. NDF		mä. HDF		st. HDF		mä. HDF		st. HDF	
	P5	P4	P4	P5	P3	P3	Diff_P3-P4	Diff_P3-P4	Diff_P3-P5	Diff_P3-P5
1952	26,2	23,7	23,7	-2,5	26,3	26,3	2,6	2,6	0,1	0,1
1983	37,4	35,2	35,2	-2,2	38,4	38,4	3,2	3,2	1,0	1,0
1999	44,5	43,2	43,2	-1,3	46,9	46,9	3,7	3,7	2,4	2,4
N = 52	schw. NDF		mä. HDF		st. HDF		mä. HDF		st. HDF	
	P5	P4	P4	P5	P3	P3	Diff_P3-P4	Diff_P3-P4	Diff_P3-P5	Diff_P3-P5
1952	27,3	24,3	24,3	-3,0	26,9	26,9	2,6	2,6	-0,4	-0,4
1983	39,0	36,4	36,4	-2,6	40,1	40,1	3,7	3,7	1,1	1,1
1999	46,2	44,4	44,4	-1,8	49,3	49,3	4,9	4,9	3,1	3,1

Werden diese Zuwachsunterschiede jeweils für die Kollektive der 100, 80 und 52 stärksten Bäume pro ha betrachtet, so ergeben sich für die Behandlungsvarianten im Zeitraum 1952 bis 1999 die in Tabelle 2 niedergelegten Entwicklungen: Die mäßige Hochdurchforstung (P4) hat im Jahr 1952 einen Durchmesser des Oberhöhenmittelstammes, der um 2 cm unter demjenigen der schwachen Niederdurchforstung liegt. Die Werte für die starke Hochdurchforstung (P3) sind dagegen etwa auf dem Niveau der schwachen Niederdurchforstung (P5). Bis zum Jahr 1999 hat sich dieser Unterschied bei der mäßigen Hochdurchforstung (P4) um 1 cm verringert. Der Durchmesser des Oberhöhenmittelstammes bei starker Hochdurchforstung (P3) hat sich dagegen um 2 cm im Vergleich zur schwachen Niederdurchforstung erhöht. Werden nur die 52 stärksten Stämme/ha für die Parzellen betrachtet (bei 2100 m<sup>2</sup> Parzellengröße beträgt der Hochrechnungsfaktor auf Hektarwerte 4,76, bei 52 Bäumen/ha werden somit die 11 stärksten Bäume pro Parzelle betrachtet), so fällt auf, daß der Vorsprung bei der Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) deutlicher ausgeprägt ist. Der Durchmesser Vorsprung im Vergleich zur schwachen Niederdurchforstung steigt im Betrachtungszeitraum von 2,1 cm (N = 100) auf 3,5 cm (N = 52) an. Auch bei der Variante mit mäßiger Hochdurchforstung fallen die Unterschiede zur schwachen Niederdurchforstung bei der Betrachtung des Kollektives N = 52 mit 2,2 cm im Vergleich zu N = 100 mit 1,0 cm deutlicher aus. Dabei wird die Ausgangssituation der Durchmesserunterschiede zwischen den Behandlungsvarianten im Jahr 1952 mit dem Endzustand im Jahr 1999 verglichen und die Differenz gebildet.

### 4.3 Prognose der Bestandes- und Wertentwicklung

Zur Klärung der Frage, wie sich die unterschiedlichen Behandlungskonzepte auf die Dimensionsgrößen im Endbestand und auf die zu erwartende Wertentwicklung auswirken, wurde mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2 eine Prognose der Bestandesentwicklung berechnet. Für Parzelle 5 (schwache Niederdurchforstung) erfolgte eine Fortschreibung der Bestandesentwicklung ohne aktive Eingriffe, auf Parzelle 4 wurde die mäßige Hochdurchforstung fortgesetzt und auf Parzelle 3 (starke Hochdurchforstung) wurde wegen der im Alter von 113 bereits sehr niedrigen Stammzahl von 167 Bäumen ebenfalls eine Entwicklung ohne aktive Eingriffe fortgeschrieben. Das wird der Tatsache gerecht, dass im Prognosezeitraum natürliche Mortalität auftritt, die im Wachstumsmodell nachgebildet wird. Bei der Fortsetzung der Durchforstung würden im Endbestand zu wenige Zielbäume stehen. Der Prognosezeitraum beträgt 145 Jahre.

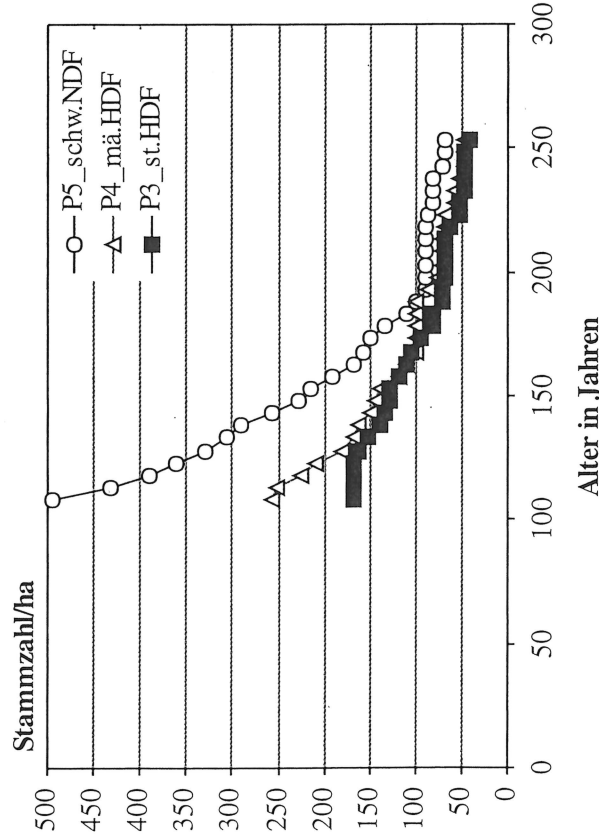


Abb. 18. Prognose der Entwicklung der Stammzahlen auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 bis zum Alter 245 Jahre mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Die Parzellen 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) werden fortgeschrieben.

Fig. 18. Simulation of stem number development on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 up to the age of 245 with the growth simulator SILVA 2.2. Separated runs are presented for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above".

Die Abbildungen 18 und 19 zeigen die Entwicklung der Naturaldaten am Beispiel der Stammzahlhaltung und der Durchmesserentwicklung der 100 stärksten Stämme/ha. Die Endbaumzahlen im Alter von 253 Jahren liegen zwischen 67 (schwache Niederdurchforstung) und 43 (starke Hochdurchforstung) Bäumen. Die Stammzahlen der mäßigen Hochdurchforstung nähern sich im Prognosezeitraum immer mehr den Stammzahlen der starken Hochdurchforstung an. Bei der schwachen Niederdurchforstung nimmt die Stammzahl im Alter zwischen 100 und 190 Jahren drastisch von 495 auf 100 Bäume ab. Die Unterschiede im Durchmesser der 100 stärksten Stämme/ha werden zwischen den Behandlungen größer. Am Ende des Prognosezeitraums im Alter von 245 Jahren beträgt der

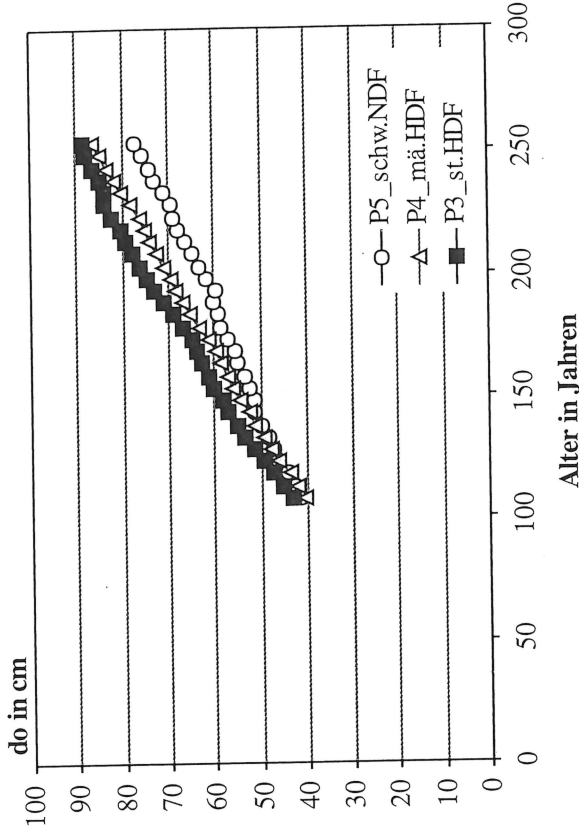


Abb. 19. Prognose der Entwicklung der Durchmesser der 100 stärksten Stämme/ha auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 bis zum Alter 245 Jahre mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Die Parzellen 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) werden fortgeschrieben.

Fig. 19. Simulated diameter development of the 100 trees with the largest diameter per hectare on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 up to the age of 245 using the growth simulator SILVA 2.2. Separated runs are presented for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above" and plot 3 "intensive thinning from above".

Unterschied zwischen dem do bei der schwachen Niederdurchforstung und der starken Hochdurchforstung 11,5 cm. Diese Differenz ist zum einen durch Zuwachsuunterschiede zum anderen durch rechnerische Verschiebung bedingt.

Werden bestimmte Zieldurchmesser definiert, so erreichen beispielsweise die Bäume auf der Parzelle mit starker Hochdurchforstung einen do von 60 cm im Alter von 150 Jahren, während dies bei der schwachen Niederdurchforstung erst im Alter von 190 Jahren der Fall ist. Zieldurchmesser von 80 cm werden im Zeitraum 210 (starke Hochdurchforstung) bzw. 253 Jahren (schwache Niederdurchforstung) erreicht. Dies deutet bereits den möglichen Spielraum für die Erhöhung der Zieldurchmesser bei gleicher Umtriebszeit oder für die Verkürzung der Umtriebszeit bei gleichem Zieldurchmesser an.

Die vorgestellte Prognose der Naturaldaten läßt die Frage aufkommen, ob höhere Durchmesser oder höhere Stammzahlen die Wertentwicklung der Bestände stärker beeinflussen. Zur Klärung wird die Entwicklung der Wertleistung der Bestände bei einheitlicher Sortierung untersucht, das anfallende Industrieholz und die oberen Abschnitte wurden mit geringen Erlösen (50 DM/fm) kalkuliert.

Die Entwicklung der Gesamtwertleistung in den Beständen (Abb. 20) verläuft in einem sehr engen Korridor. Bis zum Alter von fast 200 Jahren sind die Beträge für die unterschiedlichen Behandlungskonzepte annähernd gleich. Dann beginnt die schwache Niederdurchforstung die behandelten Parzellen geringfügig zu überholen. Der Effekt einer relativ hohen Stammzahl und einer durchaus beachtlichen Durchmesserentwicklung führt hier zur Überlegenheit der schwachen Niederdurchforstung. Allerdings wurde keine Qualitätsdifferenzierung zwischen den Behandlungsvarianten berücksichtigt.

## Wertleistung (vbl.+auss.) in Tsd. DM/ha

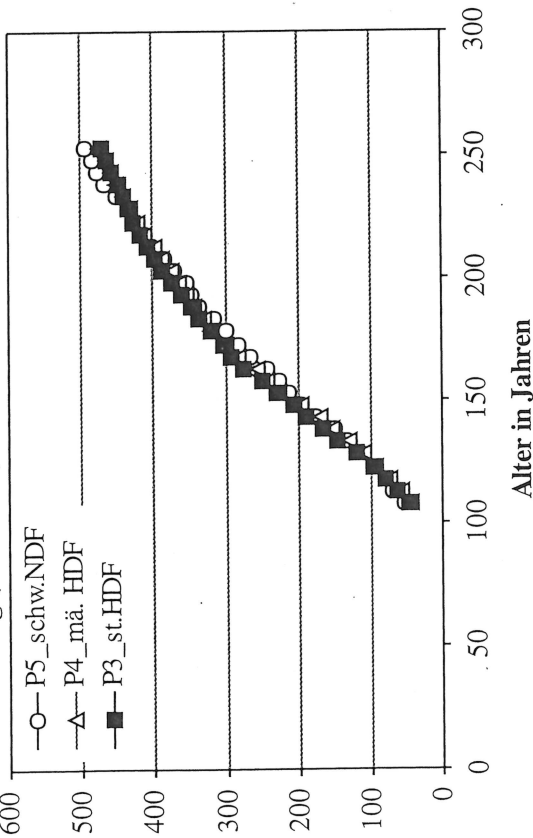


Abb. 20. Prognose der Gesamtwertleistung in DM/ha auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 vom Alter 113 bis zum Alter 245 Jahre mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Die Parzellen 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) werden fortgeschrieben.

Fig. 20. Simulation of the total economic value (DM/ha) for the long-term experimental plot Waldleiningen 88 from age 113 to 245 with the growth simulator SILVA 2.2. Separated runs are presented for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above".

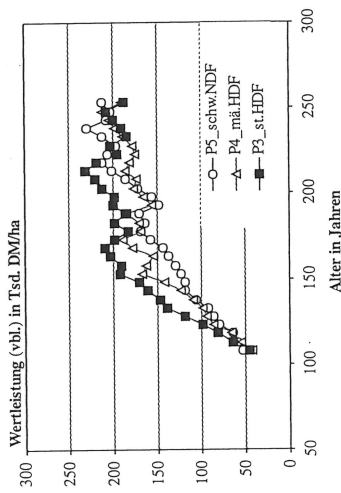


Abb. 21. Prognose der Gesamtwertleistung für den verbleibenden (links) und ausschneidenden Bestand (rechts) in DM/ha auf der Versuchsfläche Waldleiningen 88 bis zum Alter 245 Jahre mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2. Die Parzellen 5 (schwache Niederdurchforstung), 4 (mäßige Hochdurchforstung) und 3 (starke Hochdurchforstung) werden fortgeschrieben.

Fig. 21. Simulation of the total economic value (DM/ha) of the remaining trees (left) and the removed stand (right) on the long-term experimental plot Waldleiningen 88 up to the age of 245 with the growth simulator SILVA 2.2. The prognoses are calculated for plot 5 "slight thinning from below", plot 4 "moderate thinning from above", and plot 3 "intensive thinning from above".

Wird die Wertleistung nach verbleibendem und ausschneidendem Bestand differenziert (Abb. 21), so ist die Wertleistung des verbleibenden Bestandes bei der starken Hochdurchforstung über lange Zeiträume den übrigen Behandlungsvarianten überlegen. Zwischen den Varianten liegen maximale Unterschiede in der Wertleistung des verbleibenden Bestandes zwischen 30 und 50 Prozentpunkte. Durch die Stammzahlabgänge fallen auf allen Parzellen erhebliche Vornutzungsmengen an. In der Wertleistung des ausschneidenden Bestandes gibt es Phasen mit bedeutsamen Unterschieden zwischen den Behandlungsvarianten, im Alter von 253 Jahren liegt die schwache Niederdurchforstung jedoch wieder im Bereich der anderen Varianten.

## 5 Diskussion der Ergebnisse

Die Abweichungen in der Höhenentwicklung von der Ertragstafel JÜTTNER mäßige Durchforstung (1955) sind in süddeutschen Eichenbeständen schon häufiger beobachtet worden (MAYER 1957, SPIECKER 1991, FREIST-DORR 1992). In diesen Beständen ist das Standort-Leistungspotential durch eine ausgeprägte Betonung des Höhenwachstums in der Altersphase bis 100 Jahre anders als in norddeutschen Eichenbeständen (PRETZSCH und UTSCHIG 1995).

Die Grundfläche in den Beständen liegt zu Versuchsbeginn auf ertragstafelgemäßen Niveau. Die Abweichung der schwachen Niederdurchforstung von den Erwartungswerten der Ertragstafel JÜTTNER (1955) wird in der Beobachtungszeit immer größer. Dies deutet auf eine erhebliche Verbesserung des Ertragsniveaus in diesen Eichenbeständen hin. Derartige Reaktionen sind in Bayern seit längerem zu beobachten (PRETZSCH 1985, PRETZSCH 1996, PRETZSCH 1999; RÖHLE 1995, PRETZSCH und UTSCHIG 2000). Die Entwicklung der Vorratswerte und der laufenden Volumenzuwächse deuten in eine ähnliche Richtung. Als mögliche Ursachen dafür kommen Temperaturerhöhung, CO<sub>2</sub>-Anstieg und Stickstoffeintrag in Betracht.

Das auf den Flächen verwirklichte Durchforstungsprogramm reicht von maximaler Dichte bis zu extremer Grundflächenabsenkung. Der Rahmen von gängigen Behandlungsprogrammen wird nach oben und unten deutlich überschritten. Damit ist – ab einem Alter von 50 bis 60 Jahren – ein weiter Behandlungsrahmen und Reaktionsspielraum der Bäume beschrieben. Effekte sehr früher Durchforstungseingriffe in Eichenbeständen sind allerdings nicht enthalten (MOSANDL, EL KATEB und ECKER 1991). Die untersuchten Eichenbestände zeigen eine für die Lichtbaumart Eiche erstaunlich hohe Zuwachselastizität. Erst bei einer Grundflächenabsenkung um 50 % sinkt der flächenbezogene Zuwachs relativ stark ab. Die Kronenentwicklung der Bäume reagiert sehr deutlich auf die unterschiedlichen Eingriffsstärken, während die Unterschiede in der Durchmesserentwicklung bisher eher gering ausfallen.

Die Entnahmesätze auf den Parzellen zeigen bei den behandelten Beständen nur geringe Unterschiede trotz sehr unterschiedlicher Durchforstungskonzepte. Die hohe Zuwachselastizität der untersuchten Bestände führt auch bei niedriger Grundflächenhaltung zu hohen Entnahmesätzen. Damit bleibt in den Beständen die Grundflächenstaffelung erhalten, die durch die ersten Eingriffe eingestellt wurde.

Die Standraumökonomie von Eichen ist in dichten Beständen günstiger als in stark hochdurchforsteten Beständen. Es zeigt sich, dass der Standraumbedarf bei gleichem BHD in dichteren Beständen geringer ist. Dieser Effekt wurde von MAYER (1957) eingehend beschrieben und ist bei der Definition von Z-Baum-Anzahlen zu beachten.

Die Konkurrenzverhältnisse in den Beständen unterscheiden sich insgesamt sehr deutlich zwischen den Behandlungsvarianten. Wird allerdings nur das Teilkollektiv der 100 stärksten Stämme betrachtet, so lassen sich in den jetzt 113-jährigen Beständen nur noch geringe Unterschiede erkennen. Hier kommt die starke Tendenz der Eiche zur Selbstdefferenzierung zum Ausdruck, die bereits GAYER (1998) als charakteristisch für die Entwicklungsdynamik von Eichenbeständen beschrieb.

Unabhängig von der Eingriffstärke zeigt die Jahrringbreite der Eiche sehr starke Schwankungen. Diese sind durch klimatische Einflüsse wie z. B. den Trockenjahre Ende der 50er oder der 70er Jahre oder durch biotische Einflüsse wie Maikäferbefall, Schwamm- oder Eichenwicklerfraß oder durch Mastjahre bedingt. Bei der Veränderung der Jahrringbreite fällt auf, daß die Schwankungen in der Jahrringbreite bei den tendenziell großkronigeren Bäumen der behandelten Parzellen stärker ausfallen als bei den Bäumen auf der schwachen Niederdurchforstung; dies deckt sich mit den Untersuchungen von MAYER (1957).

Völlig ungewöhnlich ist die in der Gesamtrendenz mit erheblichen Schwankungen auf allen Parzellen ständig steigende Jahrringbreite bei den 100 stärksten Bäumen. Besonders in den letzten 20 Jahren steigt die Jahrringbreite deutlich an. Neben positiven Witterungseffekten müssen hierfür auch noch andere Faktoren verantwortlich sein. Die Stoffhaushaltsituation wird zur weiteren Klärung dieser Fragestellung näher untersucht. Die hierfür notwendigen Daten werden derzeit an der Versuchsanstalt in Trippstadt recherchiert. Insgesamt decken sich die hier festgestellten Wachstumsstendenzen mit Untersuchungen im Spessart (UTSCHIG, BACHMANN und DURSKY 1993).

Erstauulich hoch ist mit 2 mm Jahrringbreite der Durchmesserzuwachs in der unbehandelten Parzelle. DONG, MUTH und ROEDER (1998) fanden vergleichbare Zuwachsraten in verschiedenen Eichen-Durchforstungsversuchen im Pfälzer Wald. SPIECKER (1991) beschreibt Produktionsprogramme bis zum Alter von 120 Jahren mit Jahrringbreiten zwischen 1,0 und 3,0 mm. Damit erreicht die Variante schwache Niederdurchforstung bereits das obere Leistungsspektrum der beschriebenen Varianten, obwohl die Versuchsfäche auf einem typischen, mäßig frischen Sand mit mittlerer Nährstoffversorgung stockt.

Der durchforstungsabhängige Anteil am Jahrringbreitenzuwachs beträgt im Vergleich zu einer ungestörten Entwicklung derzeit 10 bis 20 Prozentpunkte. Dies bedeutet, dass am Ende einer Umtriebszeit der Durchmesserzuwachs der stärker behandelten Parzellen maximal 8 bis 10 cm beträgt. Ist ein Zieldurchmesser für den Bestand definiert, so wird dieser um 20 bis 40 Jahre früher erreicht. Erscheint der Durchmesserzuwachs moderat, so ist zu beachten, dass z. B. zwischen einer Eiche mit BHD 70 cm (Volumen = 7,5 Vfmd = 100 %) und 80 cm BHD (Volumen = 9,8 Vfmd) ein Vorratsunterschied von 30 Prozentpunkten liegt. Damit wird die Bedeutung der Durchforstung deutlich: Steuerung des Zuwachses auf qualitativ hochwertige Stämme, mit hohen Wertholzanteilen.

Die Untersuchung der Wertentwicklung in den Beständen zeigte überraschend geringe Unterschiede in der Gesamtwertleistung. Die Varianten mit höheren Stammzahlen in höherem Alter brachten noch beachtliche Vornutzungserlöse. Der Wert des verbleibenden Bestandes ist, wie zu erwarten, bei stärkerer Durchforstung über lange Zeiträume deutlich höher. Insgesamt zeigt sich eine Kompensation des Wertes der höheren Durchmesser bei stärker behandelten Parzellen durch die höheren Stammzahlen bei schwacher Niederdurchforstung. Werden jedoch durch die qualitative Auslese im Rahmen der Durchforstung Sortierungsgewinne erzielt, so erhöht sich der Wert der durchforsteten Bestände noch zusätzlich.

Die Ausfälle einzelner vorherrschender Eichen, wie beispielsweise auf Parzelle 6, zeigen auch die Probleme bei sehr starken Durchforstungseingriffen auf. Die im Unterstand vorhandene Buche ist wegen der hohen Eingriffstärke grundsätzlich stärker entwickelt als auf den schwächer behandelten Parzellen. Treten Lücken auf, nutzt die Buche diese Chance und dringt in das Kronendach der Eiche vor. Je günstiger die Standortbedingungen für die Buche sind, umso riskanter ist die starke Öffnung des Kronendaches. Diese Gefahr wird durch das unerwartete Absterben herrschender Eichen - z. B. hervorgerufen durch Phytophthora (JUNG et al. 1996) - verstärkt. Deshalb muß mit einer ausreichenden Reserve von Auslesebäumen gearbeitet werden.

### 6 Danksagung

Wir danken dem Waldbaufereenten des Ministeriums für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz, Herrn MR Dr. W. EDER, und dem Leiter der Forstlichen Versuchsanstalt in Trippstadt, Herrn Professor Dr. A. RÖDER, für die finanzielle Förderung dieser Untersuchung.

### 7 Literatur

ASSMANN, F., 1961: Waldertragskunde. BLV Verlagsgesellschaft, München, 490 S.  
 DONG, P. H., MUTH, M. und ROEDER, A., 1998: Traubeneichen-Durchforstungsversuch in den Forstämtern Elmstein-Nord und Fischbach. Forst und Holz, Jg. 52, S. 34-38.  
 FABRICIUS, L., 1933: Zur Wasserreisfrage. Forstw. Cbl., 55. Jg., S. 415-417.  
 FREIST-DORR, M., 1992: Struktur und Wachstum süddeutscher Traubeneichen-Buchen-Mischbestände. Forstliche Forschungsbericht München Nr. 124/1992, 221 S.  
 GAYER, K., 1989: Der Waldbau. Paul Parey, Berlin, 4. Auflage, 626 S.  
 JOHANN, K., 1993: DESER-Norm 1993: Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumskundlichen Dauerversuchsfächen. In: Tagungsbericht der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde 1993 in Kapfenhardt, S. 96-104.  
 JÜTTNER, O., 1955: Ertragsfaktoren für Eichen. Ertragsfaktoren wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung, neubearbeitet von R. SCHÖBER. Sauerländer's Verlag, Frankfurt, 2. Auflage 1975, 154 S.  
 JUNG, T., BLASCHKE, H., LANG, K. und OSWALD, W. F., 1996: Phytophthora-Wurzelfäule der Stiel- und Traubeneiche. AFZ, 51. Jg., H. 26, S. 1470-1474.  
 KAHN, M. und PRETZSCH, H., 1997: Das Wuchsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFZ, 168 Jg., H. 6/7, S. 115-123.  
 MAYER, R., 1957: Untersuchungen über Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süd-deutschen Standorten. Dissertation Univ. München, Staatswirtschaftliche Fakultät, 132 S. zuzüglich Anhang.  
 MOSANDL, R., EL KATEB, H. und ECKER, J., 1991: Untersuchungen zur Behandlung von jungen Eichenbeständen. Forstwiss. Cbl., 110. Jg., S. 358-370.  
 PRETZSCH, H., 1985: Wachstumsmerkmale süddeutscher Kieferbestände in den letzten 25 Jahren. Forstl. Forschungsber. München, Nr. 85, 183 S.  
 PRETZSCH, H., 1996: Growth Trends of Forests in Southern Germany. European Institute Research Report No. 5, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, S. 107-132. In: SPIECKER, H., MIELIKAINEN, K., KOHL, M. und SKOVGAARD, J. P. (Hrsg.): Growth Trend in European Forests, 372 S.  
 PRETZSCH, H., 1999: Waldwachstum im Wandel. Forstw. Cbl., 118. Jg., S. 228-250.  
 PRETZSCH, H. und UTSCHEG, H., 1989: Das „Zuwachstrend-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schädgebieten. Forstarchiv, 60. Jg., H. 5, S. 188-193.  
 PRETZSCH, H. und UTSCHEG, H., 1995: Die Eichen-Versuchsflächen im Forstamt Elmstein-Nord, AFZ 50. Jg., H. 2, S. 67-71.  
 PRETZSCH, H. und UTSCHEG, H., 2000: Wachstumstrends der Fichte in Bayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, Heft 49, 170 S.  
 RÖHLE, H., 1995: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Mitteilungen aus der Bayerischen Staatsforstverwaltung, Heft 48, 272 S.  
 SCHWAPPACH, A., 1920: Untersuchungen über die Zuwachsleistungen von Eichen-Hochwaldbeständen in Preußen, II. Teil. Neumann Neudamm, 37 S.  
 SPELLMANN, H. und v. DIEST, W., 1990: Entwicklung von Z-Baum-Kollektiven in langfristig beobachteten Versuchsfächen. Forst und Holz, 45. Jg., Nr. 19, S. 573-580.  
 SPIECKER, H., 1991: Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung der Trauben- und Stieleichen. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 72, 155 S.  
 UTSCHEG, H., BACHMANN, M. und DURSKY, J., 1993: Wirkung verschiedener Durchforstungen auf Struktur und Wachstum, Traubeneichen-Durchforstungsversuch 620, AFZ, 48. Jg., Heft 6, S. 271 bis 274.  
 ZIMMERLE, H., 1930: Hilfszahlen zur Bonitierung, Vorrats- und Zuwachsschätzung in reinen Eichenbeständen. Mitt. d. Württ. Forstl. Versuchsanstalt, S. 1-14.

Anschrift der Verfasser: Dr. HEINZ UTSCHEG und Prof. Dr. HANS PRETZSCH, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, Am Hochanger 13, D-85354 Freising.