



**Lehrstuhl für Waldbau**

**Wissenschaftszentrum Weihenstephan**

**Die Bewirtschaftung junger Traubeneichenbestände (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in Unterfranken unter Berücksichtigung von waldbaulichen, forstökonomischen und naturschutzfachlichen Gesichtspunkten**

**Alexander Viktor Abt**

**Vollständiger Abdruck der von der Fakultät**

**Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt**

**der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades**

**eines Doktors der Forstwissenschaft (Dr. rer. silv.)**

**genehmigten Dissertation.**

**Vorsitzender: Prof. Dr. Klaus Richter**

**Prüfende der Dissertation:**

**1. Prof. Dr. Reinhard Mosandl**

**2. Prof. Dr. Thomas Knoke**

**Die Dissertation wurde am 04. Juni 2018 bei der Technischen Universität München**

**eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für**

**Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 29. August 2018 angenommen.**

## Danksagung

Mein inniger Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Reinhard Mosandl. Er ist der „Vater“ des Traubeneichenpflegeversuchs und für sein Vertrauen, mir die Bearbeitung dieses Projekts zu ermöglichen, bedanke ich mich ganz ausdrücklich und herzlich. Er ließ mir volle Freiheit in der Bearbeitung der Fragestellungen – insbesondere zeitliche. Er achtete dabei aber stets auf eine zielgerichtete Auswertung und lenkte das Projekt mit viel persönlichem Einsatz zu einem erfolgreichen Abschluss. Ich habe viel von ihm gelernt und profitiere stets davon.

Herr Prof. Dr. Knoke als mein Zweitprüfer war immer ein geduldiger Ansprechpartner und zeigte Lösungen dort auf, wo ich selbst nicht mehr weiter wusste. Sein Impuls zur Simulation der Bestände auf Basis von Jahrringbohrungen und seine kritischen Fragen zur vorliegenden Arbeit leisteten einen wichtigen Anteil am Gesamterfolg des Projekts. Für diese so substantiellen Beiträge bedanke ich mich herzlich.

Dem Kuratorium für forstliche Forschung danke ich herzlich für die Finanzierung des Projekts W39 sowie des Eichenprojekts KLIP26. Den beteiligten Institutionen Bayerische Landesforstverwaltung und Bayerischen Staatsforsten danke ich aufrichtig für die Unterstützung auf der Fläche.

Herrn Prof. Dr. Eduard Hochbichler von der BOKU Wien gebührt mein herzlicher Dank, da er es war, der mich für Fragestellungen zur Laubolzbewirtschaftung begeisterte und mir den Weg zu diesem Projekt wies. Von ihm lernte ich sehr viel – theoretisch und praktisch. Vieles, was mich als Förster ausmacht, verdanke ich ihm.

Herrn Prof. Dr. Jens Peter Skovsgaard von der SLU Alnarp und Frau Dr. Giulia Atocchi bin ich zu tiefem Dank dafür verpflichtet, mir die beeindruckenden Stieleichen (und Elsbeeren) Dänemarks und Schwedens gezeigt zu haben. Die Reise auf die Versuchsflächen der SLU Alnarp referenzierten für mich wesentliche Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs und zeigten mir, was mit Eichen waldbaulich möglich ist.

Herrn FD Dr. Sebastian Höllerl war ein steter Weggefährte in diesem Projekt. Sein enthusiastischer Zugang zu diesem Projekt war immer motivierend und ohne seine vielfältigen Beiträge wäre die vorliegende Arbeit in dieser Form nicht entstanden. Seine Bereitschaft, sein Wissen um den Wald in Unterfranken und die kulinarischen Aspekte rundherum zu teilen, verdient den größten Dank.

Dem Lehrstuhlteam WBFE an der Studienfakultät Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der Technischen Universität München – insbesondere Frau Violeta Aramayo, Frau Manuela Theobald, Frau Anja Brinckmann und Frau Petra Zeller - gebührt mein höchster Dank für die mannigfaltige Hilfe bei administrativen Belangen, der Digitalisierung der Messdaten und sonstigen Herausforderungen des Universitätsalltags. Es war eine gute Zeit am Lehrstuhl für mich.

Herrn Max Seitz und Herrn Georg Dischner bin ich zu tiefem Dank dafür verpflichtet, mich in die Technik der Jahrringanalyse eingeführt zu haben.

Frau Dr. Ximena Palomeque und ich teilten Freud und Leid in den Fragen der Statistik – hierfür herzlichen und transkontinentalen Dank nach Ecuador. Herr Dr. Hannes Petermeier brachte mich durch seinen pragmatischen und verständlichen Zugang zur Statistik substantiell in der Auswertung weiter.

Herr Jakob Schlund, Herr Sebastian Magin, Herr Timo Striffler, Herr Christian Schemm, Herr Martin Weber, Herr Philipp Moosmeier, Herr FR Amadeus Bewer und Herr Justus Humpert waren fleißige Assistenten im Feld und der Labor- und Digitalisierungsarbeit. Dass darüber hinaus sehr gute Abschlussarbeiten und feste Freundschaften entstanden, macht die gemeinsam durchstandenen, winterlichen Aufnahmen bei minus 25°C (an sonnigen Hängen) umso wertvoller für mich.

Herrn OFR Dr. Stefan Müller-Kroehling bin ich zu tiefem Dank für die Bereitstellung umfangreicher Literatur verpflichtet.

Frau Laura Carlson zeigte mir, dass man ökologische Auswirkungen waldbaulichen Handelns aus unterschiedlichen Blickwinkeln bewerten kann. Hierfür und für ihr Engagement bei der sprachlichen Verbesserung von Manuskripten verdient sie meinen tiefen Dank.

Herr Dr. Václav Hurt ist durch den Traubeneichenpflegeversuch mein guter Freund geworden und ich bedanke mich bei ihm für abendfüllende Diskussionen und kritische Fragen an den entscheidenden Punkten. Die Vortragsreise an die Mendel-Universität in Brno/ Tschechien ist mir in besonders guter Erinnerung.

Bei ForstBW, insbesondere bei Herrn Landesforstpräsident Max Reger, Herrn MDG Hans-Peter Kopp, Herrn lfd. FD Michael Thies, Herrn FD Dr. Hans Untheim und ganz besonders bei

Frau MRin Dr. Anja Peck bedanke ich mich herzlich für die Unterstützung, Geduld und die Freiheiten, die ich brauchte und bekam, um diese Promotionsarbeit neben meiner eigentlichen Tätigkeit bei ForstBW zu einem Ende zu führen. Freistellungen in kritischen Umbruchs- und Reorganisationsphasen für ein Dissertationsprojekt zu bekommen ist nicht selbstverständlich und darum bedanke ich mich hierfür auf das aller herzlichste.

Frau Dr. Carola Paul – ohne sie wäre diese Arbeit niemals zu einem Ende gekommen. Es war nicht nur ihr unheimliches Verständnis um Statistik und die Bedienung des Programmpaketes SPSS außerhalb ausgetretener Pfade, das mir so großartig geholfen hat. Noch viel mehr waren es ihre ermunternden Worte, immer ausgesprochen an den kritischen Punkten des Projekts, als ich selbst nicht mehr dachte, dass es weiter gehen könnte. Ihr phantastischer, ungebrochener und stets humorvoller Einsatz verdient den größten Dank von mir.

Meiner Familie – insbesondere meiner Mutter Elisabeth, meinem Vater Alexander und meiner Schwester Annika, danke ich für Ihren Glauben an mich, ihre nie endende Unterstützung und ihre schier grenzenlose Geduld mit dem Projekt Dissertation. Sie bewiesen ausgesprochene Leidenschaft, was meine Dissertation angeht und wurden nie müde, mich zum Weitermachen zu motivieren.

Zu guter Letzt sei der Mensch genannt, ohne den ich dieses Projekt hätte zu keiner Zeit bearbeiten, geschweige denn abschließen können. Meine Frau Klara Maria trägt den größten Anteil an der Entstehung und dem Erfolg dieser Arbeit. Langwährender Verzicht auf gemeinsam verbrachte Abende oder Wochenenden, die größte Geduld, das tiefste Verständnis bei Frustration und Unwillen sowie die Gabe, immer die richtigen Worte der Motivation zu treffen, halfen mir, die vorliegende Arbeit zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Insbesondere an den Tiefpunkten, die wohl jeder Doktorand kennt, war sie es, die mir einen gangbaren Weg aufzeigte und mich stets aufrichtete und begleitete. Hierfür ist ein schlichtes „Danke“ viel zu wenig.

## Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	IV
1 Einleitung .....	7
1.1 Ausgangslage und Ziele der vorliegenden Arbeit .....	7
1.2 Hypothesen.....	10
2 Stand des Wissens zur Eichenpflege .....	11
2.1 Waldbau und Holzqualität .....	11
2.2 Finanzen.....	14
2.3 Naturschutz.....	16
3. Der Eichenpflegeversuch.....	18
3.1 Untersuchungsgebiet .....	18
3.2 Versuchsanlage und Darstellung des bisherigen Versuchverlaufs .....	23
3.3 Zusammenfassung bisheriger Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs seit dem Jahr 1985.....	34
4 Waldbauliche Studie.....	37
4.1 Einleitung.....	37
4.2 Material und Methoden .....	40
4.2.1 Datenerhebung.....	40
4.2.2 Art der statistischen Datenauswertung .....	43
4.2.4 Wuchssimulationen für virtuelle Bäume .....	49
4.3 Ergebnisse.....	50
4.3.1 Bestandesweise Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs.....	50
4.3.2 Einzelbaumweise Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs .....	54
4.3.2.1 Real gemessene Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme .....	54
4.3.2.2 Virtuelle Bäume - simulierte Brusthöhendurchmesser .....	57
4.3.2.3 Höhen .....	64
4.3.2.4 Kronenschirmflächen der Eichen-Z-Stämme.....	68
4.3.2.5 Kronenansatzhöhe .....	72

---

4.3.2.6 Astfreie Schaftlängen .....	74
4.3.2.7 Totastzone .....	79
4.3.2.8 Wasserreiserbesatz .....	81
4.3.2.9 Verzweiselungen.....	84
4.3.2.10 Krümmungen .....	86
4.3.2.11 Indexierte Qualität.....	87
4.3.2.12 Kraft´sche Klasse der Eichen-Z-Stämme .....	89
4.3.2.13 Eichenanteile und –ausfallraten .....	92
4.4 Diskussion .....	95
4.4.1 Diskussion der erhobenen Daten.....	95
4.4.2 Diskussion der statistischen Methoden.....	95
4.4.3 Diskussion der Ergebnisse .....	96
4.4.3.1 Ergebnisse auf Ebene der Bestände.....	96
4.4.3.2 Ergebnisse auf Ebene der Z-Stämme .....	98
4.4.3.3 Synopse realer und simulierter Ergebnisse .....	117
5 Finanzielle Studie .....	120
5.1 Einleitung.....	120
5.2 Methoden.....	124
5.2.1 Simulation des Wachstums der Einzelbestände .....	124
5.2.1.1 Grundlagen .....	124
5.2.1.2 Spezifika der Simulationen bei Überschreiten der Zielstärke.....	129
5.2.2 Beschreibung des Eingriffsgeschehens in den simulierten Beständen.....	130
5.2.2.1 Entnahmesätze für die finanzielle Simulation .....	130
5.2.2.2 Aufwendungen für Pflegevarianten im Bestandesleben .....	133
5.2.2.3 Erlöse aus den Pflegeeingriffen .....	134
5.2.3 Methoden der finanziellen Bewertung.....	134
5.3 Ergebnisse.....	138
5.3.1 Annuitäten der Behandlungsvarianten bei definiertem Zieldurchmesser und jeweiliger Umtriebszeit.....	138
5.3.1.1 Annuitäten der acht einzelnen Simulationsvarianten .....	138

---

5.3.1.2 Sensitivitätsanalysen.....	142
5.3.2 Bodenertragswerte der Behandlungsvarianten bei Überschreiten der Zielstärke	149
5.3.2.1 Bodenertragswerte bei optimalem Z-Baum-Wachstum (best <sub>Tree</sub> -growth) .....	149
5.3.2.2 Bodenertragswerte bei mittlerem Z-Baum-Wachstum (average <sub>Tree</sub> -growth)..	160
5.4 Diskussion .....	171
5.4.1 Diskussion der Methoden .....	171
5.4.1.1 Wuchsmodelle .....	172
5.4.1.2 Eingangsgrößen.....	174
5.4.2 Diskussion der Ergebnisse .....	176
6 Naturschutzfachliche Studie .....	182
6.1 Einleitung.....	182
6.2 Material und Methoden .....	184
6.2.1 Datenerhebung.....	184
6.2.2 Auswertungsmethoden .....	185
6.3 Ergebnisse.....	188
6.3.1 Stehendes Totholz.....	188
6.3.2 Gesamtotholz mengen in den Kontroll-Parzellen .....	190
6.3.3 Habitatbäume .....	194
6.4 Diskussion .....	199
6.4.1 Diskussion der Methoden .....	199
6.4.2 Diskussion der Ergebnisse .....	199
7 Zusammenfassende Diskussion – Beantwortung der Forschungshypothesen.....	205
7.1 Widerlegung der Forschungshypothesen .....	205
7.2 Zusammenfassende Diskussion der waldbaulichen Durchforstungsregimes.....	209
7.3 Waldbauliche Empfehlungen zur Behandlung junger Traubeneichenbestände .....	212
8 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf .....	215
9 Zusammenfassung / Summary .....	217
10 Literaturverzeichnis .....	226
11 Tabellenverzeichnis.....	258
12 Abbildungsverzeichnis.....	261

## 1 Einleitung

### 1.1 Ausgangslage und Ziele der vorliegenden Arbeit

Aus forstwirtschaftlicher Sicht sind die Eichen<sup>1</sup> (Traubeneiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) und Stieleiche (*Q. robur* L.)) wichtige Elemente im deutschen Waldaufbau. Sie stocken nach der Bundeswaldinventur 3 (BWI<sup>3</sup>) auf 10,3% der bundesdeutschen Waldfläche (Thünen-Institut 2016) (vgl. Abb. 1.1) und werden heutzutage fast ausschließlich im Hochwaldbetrieb bewirtschaftet, da Nieder- und Mittelwaldnutzung in Deutschland kaum noch verbreitet ist (Hausrath 1982, Bärnthol 2003, Burschel & Huss 2003, Hochbichler 2008, Küster 2008, , Pyttel 2012, Albrecht & Abt 2014, Thünen-Institut 2016).

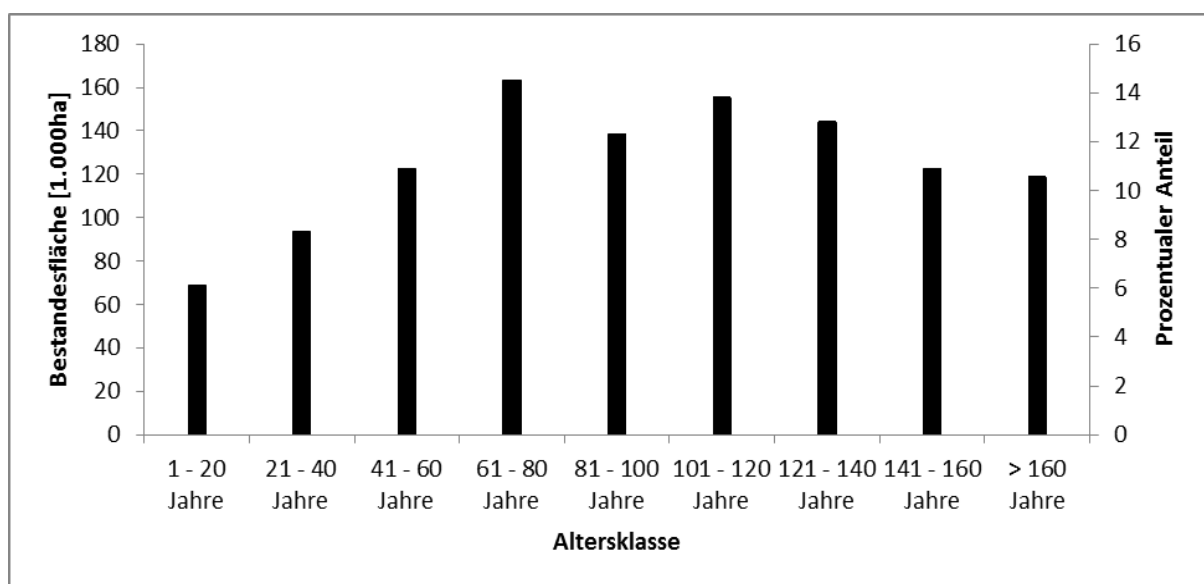


Abb. 1.1: Bestandesfläche der Eiche in Deutschland nach Altersklassen (nach BWI<sup>3</sup>)

In Deutschland haben die meisten Forstverwaltungen, insbesondere im Zuge der Waldumbauprogramme sekundärer Nadelforste hin zu standortstabilen Mischwäldern Absichtserklärungen abgegeben, die momentane Flächenausstattung mit Eichen zu halten oder für die Zukunft noch auszubauen (Bayerische Staatsforsten 2008, Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg 2014, Hauck 2016). In aller Regel wird hierbei waldbaulich auf die Produktion wertvollen Schneide- und Furnierholzes abgezielt, da bei der klassischen Zielsetzung der Eichenwirtschaft auf Grund hoher Investitionskosten und langer

<sup>1</sup> Stiel- und Traubeneiche sind eher ökologische Formen einer Baumart denn eindeutig getrennte Spezies (vgl. Gardiner 1970, Aas 1991, Feuillat et al. 1997, Neophytou et al. 2010). Die vorliegende Untersuchung basiert auf Ergebnissen aus Traubeneichenbeständen (*Quercus petraea*), zieht aber in die Literaturvergleiche Ergebnisse von Stieleichenversuchen mit ein. Nutto (1999) wies nach, dass insbesondere junge Eichen unabhängig der Artzugehörigkeit auf waldbauliche und standörtliche Effekte reagieren und die Artzugehörigkeit vernachlässigbar ist.



Umtriebszeiten (i.d.R. über 200 Jahre) nur die Produktion hochpreisiger Sortimente zumindest Kostendeckung erwarten lässt (Bartelheimer 1991, Mosandl et al. 1991). Betriebswirtschaftliche Analysen klassischer Eichenbewirtschaftungsmodelle wie beispielsweise das unterfränkische Negativauslese-Modell nach Fleder (1981) haben regelmäßig zu Kritik und zum Nachweis finanzieller Unvorteilhaftigkeit geführt (Hochbichler et al. 1990, Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Diwold 2008, Beinhofer 2010). Dies gilt insbesondere bei Verwendung von Zinsrechnung bei Bodenreinertragsverfahren.

Aus diesem Grund wurden progressivere, stärker entnehmende, auf die positiven Bestandesmitglieder ausgerichtete Durchforstungskonzepte entwickelt und in wissenschaftlichen Versuchen als auch der Praxis umgesetzt. Bei diesen Durchforstungskonzepten wird von der klassischen Negativauslese als waldbauliches Standardverfahren der Eichenwirtschaft abgerückt (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981 & 1988) und eine Förderung der gut veranlagten Bäume durch Konkurrenzregulation zu Gunsten dieser betrieben (Korpel 1974, Carbonnier 1975, Leibundgut 1976, Schaper 1978, Schütz 1989, Spiecker 1983, Kenk 1984, Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Polge 1984, Hochbichler & Krapfenbauer 1988, Hochbichler et al. 1990, Spellmann & von Diest 1990, Spiecker 1991, Kerr 1996, Wilhelm et al. 1999, Küster 2000, Mosandl & Paulus 2002, Chroust 2007, Jensen & Skovsgaard 2009, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013). Die entwickelten Durchforstungskonzepte sind allerdings nicht immer durchgängig wissenschaftlich untermauert oder empirisch belegt und somit zumeist lediglich theoretischer Natur. Sie basieren im Gegensatz zur empirisch durchgehend belegten und praxiserprobten Negativauslese (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981 & 1988) weitestgehend auf theoretischen Annahmen oder unvollständigen Wuchsreihen bzw. Chronosequenzen bei mangelnden langfristigen Direktvergleichen von konsequent parallel geführten Behandlungsvarianten (Küster 2000, Mosandl & Paulus 2002).

Neben den klassisch forstlichen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten der Eichenwirtschaft werden zusehends auch neue, bisher weniger intensiv fokussierte Aspekte der Eichenwirtschaft in Betracht gezogen. Eine Vielzahl an gefährdeten und (international) geschützten Arten lebt an und von Eichen (Ammer 1991, Bussler & Walentowski 2010, Niedermann-Meier et al. 2010) und der Schutz der Biodiversität, insbesondere in Eichenbeständen, beschäftigt Wissenschaft und Praxis (Bussler & Walentowski 2010, Lassauce et al. 2013).

Im skizzierten weitreichenden Handlungsfeld von waldbaulichen Möglichkeiten, finanziellen Erwartungshaltungen und naturschutzfachlichen Forderungen ist es trotz intensiver forstlicher Forschungstätigkeit im Themenfeld „Eichenbewirtschaftung“ ungeklärt, wie junge (Trauben)-

eichenbestände gepflegt werden sollen, um das bestmögliche Kompromissergebnis in Bezug auf Wachstum, Ökonomie und Ökologie zu erreichen.

Vor diesem Hintergrund soll die vorliegende Arbeit – gegliedert in die drei Kapitel Waldbau, Forstökonomie und Naturschutz - zu folgenden Themenschwerpunkten Beiträge leisten:

- I) Wie wirken unterschiedliche waldbauliche Behandlungsprogramme auf das **Wachstum und die Holzqualität** von jungen Traubeneichen?
- II) Wie schneiden verschiedene waldbauliche Behandlungsprogramme im **finanziellen Vergleich** ab?
- III) Welche **naturschutzfachlichen Auswirkungen** haben unterschiedliche waldbaulichen Behandlungsprogramme auf die Ausstattung von Traubeneichenbeständen mit Totholz und Biotopbäumen?

Zur Klärung dieser Fragen wurde im Jahr 1984 vom Lehrstuhl für Waldbau der Ludwig-Maximilians-Universität<sup>2</sup> München ein Traubeneichenpflegeversuch angelegt. Dieser randomisierte Blockversuch wurde auf zwei verschiedenen Standorten in je drei waldbaulichen Wuchsklassen (Mosandl & Paulus 2002) mit jeweils vier verschiedenen Pflegevarianten realisiert. Alle Versuchsflächen gingen aus klassischer Eichenleitersaat hervor. In jeder Versuchsfläche sind die Traubeneichen von einem flächigen Buchennebenbestand umgeben. Der Versuchsaufbau erlaubt den direkten, parallelen und langfristigen Vergleich von Behandlungsart, Eingriffszeitpunkt und standörtlichen Aspekten um die oben genannten Forschungsfragen zu klären.

Im Einzelnen wurden auf der Grundlage der drei zentralen Fragestellungen sechs Nullhypothesen formuliert. Die drei Fragestellungen und die zugehörigen Forschungshypothesen werden in drei eigenständigen Kapiteln (4, 5 & 6) nach

- (I) **waldbaulichen**
- (II) **finanziellen** sowie
- (III) **naturschutzfachlichen**

---

<sup>2</sup> seit dem 01. Oktober 1999 an der Technischen Universität München angesiedelt.

Blickwinkeln behandelt. Der Wissenstand zum Thema „Eichenpflege“ wird im anschließenden Kapitel 2 zusammengestellt und in Kapitel 3 der Traubeneichenpflegeversuch dargestellt. In Kapitel 7 wird eine Zusammenschau vorgenommen.

## **1.2 Hypothesen**

Die Forschungshypothesen der vorliegenden Arbeit, formuliert als Nullhypothesen, lauten wie folgt:

**Ia H<sub>0</sub>: Frühe, auf die vorherrschenden Bestandesmitglieder ausgerichtete Durchforstungen erbringen keine Wuchsvorsprünge gegenüber klassisch in Dichtschluss gehaltenen Traubeneichen.**

**Ib H<sub>0</sub>: Die Qualitätsentwicklung von bereits früh positiv geförderten Traubeneichen unterscheidet sich nicht von der klassisch in Dichtschluss gehaltener Traubeneichen.**

**IIa H<sub>0</sub>: Das Wirtschaften mit Traubeneichenbeständen ist finanziell unrentabel.**

**IIb H<sub>0</sub>: Im aussetzenden Betrieb bewirtschaftete Bestände ohne Pflegeeingriffe sind finanziell und waldbaulich genauso vorteilhaft wie bei Pflege.**

**IIIa H<sub>0</sub>: Die Bewirtschaftung hat keinen Einfluss auf die Höhe des Vorrats an Totholz.**

**IIIb H<sub>0</sub>: Die Bewirtschaftung hat keinen Einfluss auf den Anteil von Biotopbäumen.**

## 2 Stand des Wissens zur Eichenpflege

### 2.1 Waldbau und Holzqualität

Eichenholz wird in Mitteleuropa seit dem Beginn zielgerichteter Forstwirtschaft mit sehr lange währenden Produktionsprogrammen erzeugt. Dauert die Erziehung stark dimensionierten Eichenholzes im Mittelwald 5 bis 7 Unterholztriebe, also im Schnitt  $6 \times 30$  Jahre = 180 Jahre (Jobling & Pearce 1977, Bary-Lenger & Nebout 1993 & 2004, Kerr 1996, Sevrin 1997, Bärnthol 2003, Lemaire 2010), so sind die Produktionszeiten im Hochwald noch länger. Ein sehr eingängiges Beispiel für diese traditionellen Produktionsprogramme ist der sogenannte bayerische Kompositionsbetrieb. Mit einer theoretisch-abgeleiteten Umtriebszeit von 432 Jahren für die Eichenwertholzerzeugung ist ein sehr langwährendes Produktionsprogramm beschrieben worden (Vanselow 1960). Unabhängig hiervon wird auch heute noch mit Umtriebszeiten der Eichen von mindestens 180 bis 250 Jahren gerechnet (Kenk 1984, Dong et al. 2007, Krahl-Urban 1959, Fleder 1981, Spiecker 1983 & 1991, Burschel & Huss 2003, Forstdirektion Unterfranken 2005).

Seit etwa 1850 werden für Eichen (im atlantisch beeinflussten Mitteleuropa vornehmlich für Traubeneichen, in Nordeuropa für Stieleichen) neue waldbauliche Konzeptionen entwickelt. Dies geschah hauptsächlich unter dem Eindruck der hohen Kosten infolge der sehr langen Produktionszeiten und folglich auch der entsprechend langen Verzinsungszeiträume. Zur Reduktion der Kosten wurden Begründungsverfahren entwickelt wie beispielsweise die geometrische Pflanzung bzw. die Nester- oder Clusterpflanzung, die eine Alternative zur aufwendigen und investitionsintensiven Eichensaat darstellen sollen (Szymanski 1986, Gockel 1995, Guericke 1996, Ruhm 1997, Leder 2007, Petersen 2007, Saha et al. 2012).

Insbesondere wurden aber verschiedene Pflegeverfahren erprobt, um in möglichst kurzer Zeit zu starkdimensioniertem und qualitativ hochwertigem Eichenholz zu gelangen. Qualitativ hochwertig bedeutet in aller Regel astfreies Holz homogenen Aufbaus (Schulz 1955 & 1959, Göttlein 1994b, Metzger 1999, Diwold 2008).

Neben einem sehr klassischen und nachweislich sehr gut funktionierenden Ansatz, der immer nur auf das gesamte Bestandeskollektiv ausgerichtet war und keine positiven Bäume förderte, sondern nur schlechtgeformte entnahm – die sogenannte Negativauslese (vgl. Krahl-Urban 1959, Fleder 1976 & 1981, Preushler & Stögbauer 1990, Bary-Lenger & Nebout 1993 & 2004, Sevrin 1997, Andrzejczyk 2009) - wurden neue Konzepte zur Eichenwirtschaft entwickelt und etabliert. Diese richten die klassisch-forstliche Sichtweise von der Bestandesebene auf den

gut veranlagten Einzelbaum im Bestandesgefüge (Korpel 1974, Carbonnier 1975, Leibundgut 1976, Jobling & Pearce 1977, Schaper 1977 & 1978, Schütz 1979, Spiecker 1983 & 1991, Kenk 1984, Dale & Sondermann 1984, Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Polge 1984, Holten 1986, Hochbichler & Krapfenbauer 1988, Hochbichler et al. 1990, Spellmann & von Diest 1990, Mosandl et al. 1991, Kerr 1996, Nutto 1999, Wilhelm et al. 1999, Küster 2000, Mosandl & Paulus 2002, Chroust 2007, Hochbichler 2008, Jensen & Skovsgaard 2009, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013).

Hierbei stellt sich die Frage, wie ein beschleunigter Wuchs durch Ressourcenlenkung auf den Auslese- oder Z-Baum die Qualitätsentwicklung beeinflusst. Darüber hinaus gilt es sicherzustellen, dass die positive Förderung früh genug beginnt, um Wuchseffekte zu erzielen, dabei aber möglichst nicht zu früh den Bestandesdichtschluss unterbricht – fehlende Astreinigung wäre die Folge (Leibundgut 1966 & 1977, Fleder 1976 & 1981, Schaper 1978, Spellmann & Baderschneider 1988, Schmaltz et al. 1997, Dong et al. 1998, Leder 2007).

Wird in höheren Altern begonnen zu pflegen, so sind keine nennenswerten Wachstumsreaktionen bei Eichen fest zu stellen (Utschig et al. 1993, Pretzsch & Utschig 1995, Dong et al. 1997 & 2007, Utschig 2000, Utschig & Pretzsch 2001, Lockow 2006). Einbußen in der qualitativen Entwicklung hingegen treten in Folge spät einsetzender, intensiver Förderungen aber durchaus auf, zum Beispiel durch Wasserreiserbildung (Zieren 1970, Preuhsler et al. 1993, Pretzsch & Utschig 1995, Nagel 2007, Attocchi 2013).

Als Reaktion hierauf wurden Eichen sehr früh gepflegt und freigestellt (Carbonnier 1975, Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Hochbichler 1987, Hochbichler & Krapfenbauer 1988, Hochbichler et al. 1990, Hochbichler 1993, Sevrin 1997, Lemaire 2010, Short & Hawe 2012). Diese frühen Freistellungen erfordern jedoch Formschnitte und Astungsmaßnahmen aufgrund fehlenden Seitendrucks zur Erreichung gewünschter Schafformen und Astreinheit.

Behandlungsprogramme für Eichen im deutschsprachigen Raum sehen in der Regel keine Astungsmaßnahmen vor, so dass aus den oben genannten Erfahrungen abgeleitet wurde, in mittleren Altern mit der Pflege zu beginnen (Klädtker 1990, Mosandl et al. 1991). Spellmann & v. Diest (1990) sowie Noack (2014) sprechen sich für späte Auslesebaumwahl ab frühestens dem Alter 60 bis 70 Jahre aus, Klädtker (1990), Mosandl et al. (1991) und Spiecker (1991) raten zur früheren Auslesebaumwahl ab 35 bis 40 Jahren. Hierbei muss aber die Auslesebaumanzahl die Z-Baumanzahl übersteigen (Leibundgut 1966, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Hochbichler 1993, Nutto 1999, Andrzejczyk 2009), um Auswahlmöglichkeiten unter positiven Bestandesmitgliedern zu haben.

Wie sich die Qualitätsentwicklung aber en Detail in exakt definierten Behandlungsprogrammen ausnimmt, ist nach wie vor weitestgehend unklar. Mosandl et. al (1991) sowie El Kateb et al. (2006) berichten vom in der vorliegenden Arbeit weiter bearbeiteten Traubeneichenpflegeversuch (vgl. Kapitel 3 sowie 4). Vier Behandlungsprogramme in drei Altersklassen auf zwei Standorten erlauben es zu bewerten, wie und wann in jungen Traubeneichenbeständen gepflegt werden sollte, um bestmögliches Wachstum und hohe Qualitätsentwicklung miteinander in Einklang zu bringen.

## 2.2 Finanzen

Pflegemaßnahmen in jungen Beständen sind häufig defizitär und für sich gesehen unrentabel, da den Aufwendungen für das Pflegen keine nennenswerten Holzerlöse gegenüber stehen. Aus jungen Beständen sind in aller Regel keine wertvollen Sortimente zu gewinnen – dies gilt sowohl für Nadel- als auch Laubholz.

Nichts desto trotz wird in der Forstwirtschaft in Jungbeständen gepflegt, um die Bestandesziele zu erreichen (Burschel & Huss 2003, Röhrig et al. 2006). Aus finanzieller Sicht müssen daher den defizitären Maßnahmen in der Jugend der Bestände kompensierende Erlöse aus Durchforstung und Abtrieb gegenüberstehen. Dies gilt auch für die Kulturkosten der Bestände.

Die Einhaltung dieses Grundsatzes ist relativ einfach zu garantieren, wenn mit dem Waldreinertrag gerechnet wird und Verzinsungseffekte durch den Faktor Zeit im Sinne einer reinen Einnahmen- und Ausgabenrechnung keine Rolle spielen (Faustmann 1849, Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Beinhofer 2010). Sobald aber mittels finanzmathematischen Ansätzen unter Einbeziehung von Zins und Zinseszins (Faustmann 1849, Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Wöhe 2005, Thommen & Achleitner 2009, Beinhofer 2010, Knoke et al 2012) eine Investition beurteilt wird, spielen Zahlungsströme – ob positiv als Einnahme oder negativ als Aufwendung - und vor allem deren Zeitpunkt in der Gesamtlaufzeit der Investition eine wesentliche Rolle. Dies begründet sich darin, dass eine Investition in aller Regel nicht alternativlos ist und das Kapital (in Form von Finanzmitteln oder zu bestockendem Waldboden) potentiell gewinnbringender eingesetzt werden könnte.

Insbesondere für die Eichenwirtschaft wiegt die Rechnung mit Bodenreinerträgen unter Einbeziehung von Zinsen schwer, da hohe Kulturkosten über sehr lange Verzinsungszeiträume (=Umtriebszeit), meist 200 Jahre und mehr, betrachtet werden müssen (Kenk 1984, Dong et al. 2007, Krahl-Urban 1959, Fleder 1981, Spiecker 1983 & 1991, Burschel & Huss 2003, Forstdirektion Unterfranken 2005). Hohe Abtriebserlöse am Ende der Umtriebszeit kompensieren daher häufig die hohen Aufwendungen nicht mehr (Endres 1911 (zitiert nach Bartelheimer 1991), Beinhofer 2010).

Aus dieser Überlegung heraus muss für Pflegeeingriffe in jungen Eichenbeständen gefordert werden, dass sie ihre zu verzinsenden Kosten durch eine Verkürzung der Umtriebszeit zumindest kompensieren. Schmidt (2003) konnte solch eine Kompensation nachweisen. Angesichts von Produktionsrisiken wie Holzentwertung durch Wasserreiserbildung, Schädlingsbefall oder Ausfall der Bestände vor Erreichen der Umtriebszeit (Fabricius 1932, Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Gaertig et al. 2005, Beinhofer 2010) stellt sich aber die Frage, warum gepflegt werden soll, wenn dies lediglich zu einer Kompensation führt. Die

Risiken blieben im Saldo auf der Soll-Seite – für den Bewirtschafter ergibt sich kein Nutzen. Eine Pflege müsste also unterbleiben, da schlussendlich das gleiche finanzielle Ergebnis auch ohne Aufwendung zu verbuchen wäre.

Somit ist für die Pflege junger Eichenbestände zu fordern, dass die Umtriebszeit so stark verringert wird, dass für den Bewirtschafter ein klarer, wirtschaftlicher Vorteil entsteht, der das Produktions- und Investitionsrisiko kompensiert.

Inwieweit moderne Eichenpflegeverfahren dies zu erfüllen vermögen ist unklar. Hierbei stellt sich auch die Frage, ob das waldbaulich erzeugte Produkt Wertholz ein finanziell sinnvolles Produkt darstellt. Als Alternative zur Wertholzerzeugung könnte eine reine Biomasseproduktion im Schnellwuchsbetrieb finanziell vorteilhafter sein bzw. bei einer rein finanziellen Betrachtung ein früher Einschlag defizitärer, mittelalter Eichenbestände sogar ökonomisch sinnvoll sein.



### 2.3 Naturschutz

Neben der Produktion von Wertholz sind Eichen auch für den Erhalt der europäischen Waldbiodiversität von immenser Wichtigkeit. Dies gilt umso mehr, als dass Eichen im prognostizierten Klimawandel (IPCC 2013) als sehr zukunftssträchtige Baumarten gelten (Kölling 2007, Roloff & Grundmann 2008, Reif et al. 2010, Rellstab et al. 2016) und somit im Waldaufbau mittelfristig eine größere Rolle spielen dürften.

Eine Vielzahl an gefährdeten und (international) geschützten Arten (Ammer 1991, Bussler & Walentowski 2010, Niedermann-Meier et al. 2010) lebt an und von Eichen. (Alt-)eichenbestände weisen in Mitteleuropa die höchste Ausstattung an Urwaldreliktarten sowie saproxylicher Fauna, die als Weiser für Naturnähe dient, auf (Bussler & Walentowski 2010, Lassauce et al. 2013).

Forstwirtschaftliche Maßnahmen werden angesichts ihrer Einwirkung auf die Habitatstrukturen in (Eichen-)beständen daher aus naturschutzfachlicher Sicht häufig kritisch bewertet. Dies gilt insbesondere für Pflegemaßnahmen und Durchforstungen (Cline et al. 1980, Linder & Östlund 1998, Wilhere 2003, Vanderwel et al. 2006, Winter & Möller 2008, Gibbons et al. 2010, Greenpeace 2013, Lassauce et al. 2013). Die naturschutzfachliche Bewertung forstlicher Maßnahmen im Allgemeinen führt bis zu deren grundsätzlichen Ablehnung und zur Forderung nach Flächenstilllegung, um Raum für vom Menschen unbeeinflusste natürliche Dynamik in Waldökosystemen zu schaffen (BMU 2007).

Für Eichenbestände ist diese Forderung kritisch zu hinterfragen, da unter den aktuell vorherrschenden Standortbedingungen mit potentiell-flächiger Buchendominanz der Anteil der Eichen am natürlichen Waldaufbau ohne aktive Forstwirtschaft wahrscheinlich geringer wäre als er es zum jetzigen Zeitpunkt ist (Fischer 2003, Walentowski et al. 2006, Hauck 2016, Mosandl & Abt 2016, Thünen-Institut 2016). Flächenstilllegungen würden nach derzeitigem Erkenntnisstand höchstwahrscheinlich den Anteil der aktuell mit Eiche bestockten Fläche vermindern und somit dem Schutzziel Eichenerhalt zuwider laufen.

Darüber hinaus kann auch nicht von einem generellen und grundsätzlich negativen Einfluss von Forstwirtschaft auf Habitatstrukturen in Wäldern ausgegangen werden. Mögliche Effekte von forstlichen Eingriffen werden wissenschaftlich nach wie vor kontrovers diskutiert (vgl. Paillet et al. 2009, Halme et al. 2010) und gerade für die Eichen sind Pflegeeingriffe und frühe Durchforstungen in ihrer Wirkung auf die Habitatstruktur (z.B. Totholzmenge oder Habitatbaumerhalt) nicht untersucht und deshalb nicht fundiert beurteilbar.

Von Eichen dominierte und sehr artenreiche Mittelwälder als höchst künstliche Vegetationsformen in intensivster forstlicher Bewirtschaftung mit enormer Bedeutung für die

mitteleuropäische Biodiversität seien in diesem Kontext als Beispiel angeführt (Brand 1997, Bolz 1999, Coch & Müller-Bauerfeind 2002, Treiber 2002 & 2003, Müller-Kroehling 2007, Short & Hawe 2012).

### 3. Der Eichenpflegeversuch

#### 3.1 Untersuchungsgebiet

Der Eichenpflegeversuch des Lehrstuhls für Waldbau liegt im Nordwesten Bayerns, dem klassischen Eichennachzuchtgebiet Bayerns im Regierungsbezirk Unterfranken. Der Versuch besteht aus fünf Traubeneichenbeständen, von denen drei im bayerischen Spessart stocken. Bedingt durch administrative Änderungen und die Forstreform in Bayern im Jahr 2005 liegen die zu Versuchsbeginn im Forstamt Rohrbrunn und dann Altenbuch gelegenen Bestände heute im Forstbetrieb Rothenbuch der Bayerischen Staatsforsten AöR, nahe der Gemeinde Weibersbrunn. Die beiden anderen Versuchsbestände stocken auf der



Abb. 3.1: Lage der Versuchsflächen in Deutschland (Quelle: <http://weltkarte.com>, abgerufen am 06.12.2016)

Mainfränkischen Platte im ehemaligen Forstamt Würzburg nahe der Stadt Kist, heute Forstbetrieb Arnstein der Bayerischen Staatsforsten AöR. Die beiden Versuchsstandorte werden in dieser Arbeit in Folge als „Buntsandstein“ und „Muschelkalk“ benannt (Abb. 3.1). Weitere, detaillierte Ausführungen zu den Versuchsflächen finden sich bei Mosandl et al. (1988 & 1991) sowie Küster (2000).

#### Geomorphologie der Versuchsstandorte

##### *Buntsandstein / Rohrbrunn*

Der Versuchsstandort Rohrbrunn liegt im Mittelgebirge Spessart im Nordwesten Bayerns, welches durch die Flüsse Sinn, Main und Kinzig begrenzt wird. Der Spessart ist ein vergleichsweise niedriges Mittelgebirge, dessen höchste Erhebung 585 m NN aufweist. Die

Versuchsflächen sind auf etwa 450 m NN angesiedelt. Der Spessart ist eine ausgesprochene Waldlandschaft mit nennenswerten Flächen ununterbrochener Bestockung seit der letzten Eiszeit (Vanselow 1960). Lediglich vereinzelte Rodungsinseln zeugen von menschlicher Besiedlung seit dem Mittelalter.

#### *Muschelkalk / Kist*

Östlich des Spessarts folgt die Mainfränkische Platte als Teil des Südwestdeutschen Schichtstufenlandes. Gelegen in der kollinen Stufe mit einer Höhe von etwa 330 m NN befinden sich die zwei Traubeneichen-Versuchsbestände im Guttenberger Wald südlich der Gemeinde Kist bei Würzburg. Die Mainfränkische Platte ist aufgrund ihrer hohen Bodenfruchtbarkeit waldarm und wird Großteils agrarisch genutzt.

### **Geologische Ausgangsbedingungen**

#### *Buntsandstein / Rohrbrunn*

Der Spessart ist ein altes Grundgebirge welches im Wesentlichen aus unterem und mittlerem Buntsandstein besteht, also kristallin ist (Lorenz 2010). Kalkhaltige Gesteine haben lediglich einen geringen geologischen Anteil. Aus den Buntsandsteinen verwittern unter den gegebenen Klimabedingungen (siehe Kapitel 1.2.3) im Bodenbildungsprozess Braunerden, die podsolieren können. Diese sind zumeist lehmig-sandig bis sandig-lehmig und relativ nährstoffarm. Im Gegensatz zum Keuper sind die geologisch-edaphischen Bedingungen im Spessart kleinräumig nicht heterogen, so dass Standortseinheiten verhältnismäßig großräumig ausgeschieden werden können.

#### *Muschelkalk / Kist*

Die Mainfränkische Platte fällt von NW nach SO vom Buntsandstein über den Muschelkalk auf den lössüberlagerten Lettenkeuper, wobei der Muschelkalk die Hauptkomponente dieser Landschaft bildet. Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen (siehe Kapitel 1.2.3) verwittern die Gesteine im Muschelkalk zumeist zu Rendzinen, auf dem Lettenkeuper entstehen Parabraunerden. Beide Bodentypen zeichnen sich durch eine hohe Basensättigung und somit Wuchskraft aus, was sich auch in der intensiven agrarischen Nutzung der Mainfränkischen Platte widerspiegelt. Der jüngere Versuchsbestand des Versuchs stockt auf zweischichtigem Lettenkeuper mit feinsandig-schluffigem Oberboden und dichtem Unterboden. Der ältere Bestand stockt auf Feinlehm aus Muschelkalk (Küster 2000).

### **Klimatische Ausgangsbedingungen**

#### *Buntsandstein / Rohrbrunn*

Der Spessart ist eine atlantisch geprägte Landschaft mit reichlichen Niederschlagsmengen, die an den höchsten Erhebungen dieses Mittelgebirges bis zu  $1000 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  erreichen. Der

Temperaturgang über das Jahr hinweg ist gemäßigt, die Winter sind vergleichsweise mild obgleich hohe Schneemengen fallen können. In der nächsten Ortschaft zu den Versuchsflächen, Weibersbrunn, liegt die Jahresmitteltemperatur bei 8,7° C und der Jahresmittelniederschlag bei 739 mm, wobei selbst im trockensten Monat noch mehr als 40 mm Niederschlag fallen (Abb. 3.2). Nach Küster (2000) liegt in Rohrbrunn

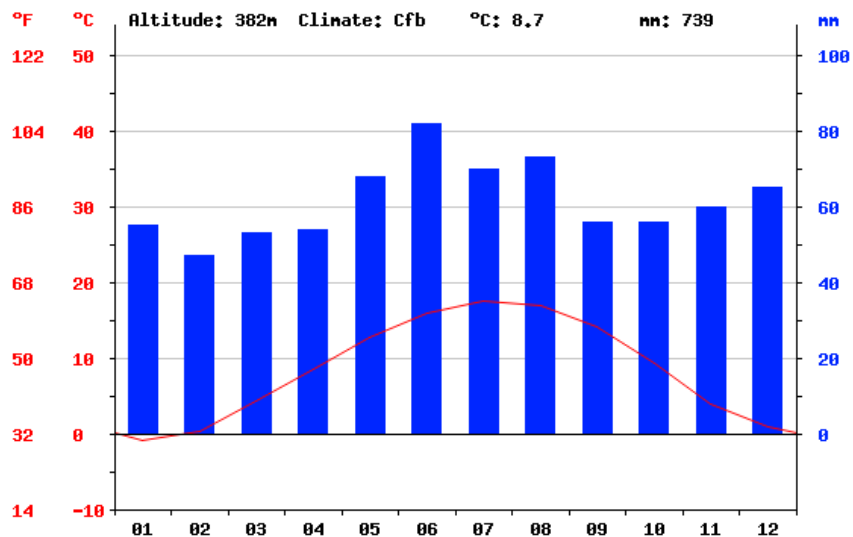


Abb. 3.2: Klimadiagramm Weibersbrunn/ Spessart (Quelle: <http://de.climate-data.org>)

die Jahresmitteltemperatur am Versuchsstandort zwischen 6,5 °C und 8,0 °C und der Niederschlag bei bis zu 1200 mm/a, also insgesamt extremer als es das Klimadiagramm von Weibersbrunn darstellt. Zu erklären ist dies mit der geomorphologischen Lage höher und westorientierter im Mittelgebirge als der Standort der Wetterstation Weibersbrunn.

#### *Muschelkalk / Kist*

Das Klima in Kist lässt sich als typisches Weinbauklima klassifizieren (Abb. 3.3). Es ist warm und trocken, wobei die Niederschlagsverteilung ausgeglichen ist und ausgesprochene Wasserdefizite nur selten auftreten. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 8,7 °C und der Jahresmittelniederschlag bei 690 mm, allerdings kann in Trockenjahren die Niederschlagssumme unter 400 mm bleiben (Walentowski et al. 2006). In Bezug auf den Wasserhaushalt ist die Mainfränkische Platte im Vergleich zum Spessart der extremere Wuchsraum.

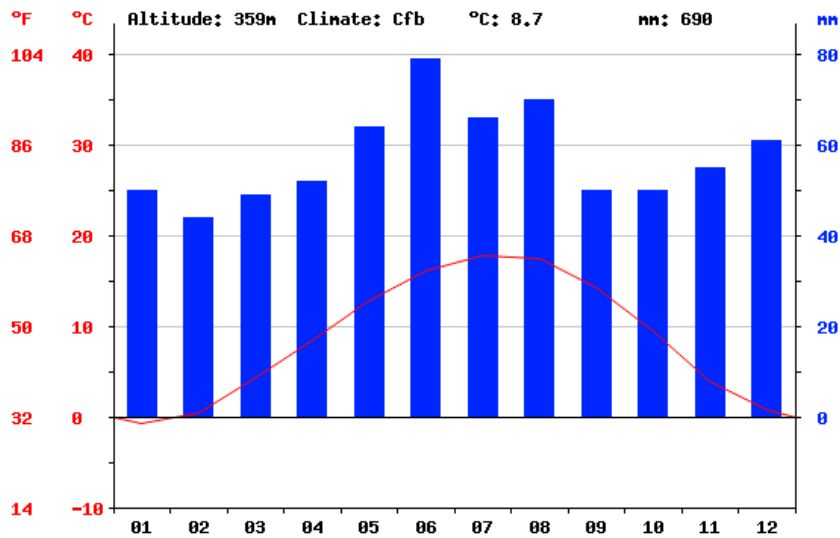


Abb. 3.3: Klimadiagramm Kist/ Mainfränkische Platte (Quelle: <http://de.climate-data.org>)

### Forstliche Wuchsgebiete

#### *Buntsandstein / Rohrbrunn*

Die Karte der forstlichen Wuchsgebietsgliederung Bayerns nach Walentowski et al. (2001) scheidet für die Bestände im Spessart das Wuchsgebiet „2 Spessart Odenwald“ aus. Genauer liegen die Bestände im Wuchsbezirk „2.2 Buntsandsteinspessart“ und hier wiederum im Teilwuchsbezirk „2.2.1 Hochspessart“. Nach Walentowski et al. (2006) ist die natürliche Leitgesellschaft des Wuchsgebiets 2 der Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo luzuloidis-Fagetum*), der über 95% der Waldfläche einnehmen würde und hier sein bayerisches Schwerpunktgebiet findet. Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) wäre von Natur aus die absolut dominierende Baumart, Mischbaumarten wären aufgrund der Wuchspotenz der Buche im atlantischen Klimaregime und den edaphischen Ausgangsbedingungen sehr stark limitiert. Menschliche Einflussnahme hat den Waldaufbau im Spessart allerdings massiv beeinflusst, so dass heutzutage alle Baumarten im Spessart angetroffen werden können, die bodensaure und basenarme Bedingungen gut verkraften. Dies sind insbesondere die Koniferen Fichte (*Picea abies* (L.) H. Karst.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Lärche (*Larix spec.*) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) sowie die Traubeneiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Andere forstlich genutzte Baumarten kommen nur sporadisch und in unbedeutender Flächenausstattung vor. Die Buche würde nach Aufgabe der menschlichen Nutzung bei Beibehaltung der momentanen Klimabedingungen in einer potentiell natürlichen Vegetation (pNV) bzw. Waldgesellschaft wieder dominieren.

*Muschelkalk / Kist*

Die Versuchsflächen bei Kist liegen im forstlichen Wuchsgebiet 4 „Fränkische Platte“. Der ausgeschiedene Wuchsbezirk wird mit 4.2 „Südliche Fränkische Platte“ angegeben (Walentowski et al. 2001). Die natürliche Baumartenzusammensetzung dieses Gebietes besteht aus Buchenwäldern bzw. Buchenmischwäldern mit einem gewissen Anteil von (Trauben)eiche und Hainbuche (*Carpinus betulus* L.). Durch menschliche Nutzung wurden die Naturwälder der Fränkischen Platte häufig in Mittelwälder umgewandelt. Die Folge sind Eichen-dominierte Wälder mit einem hohen Anteil an (ansonsten seltenem) Edellaubholz. Viele dieser Mittelwälder wurden spätestens seit dem frühen 20ten Jahrhundert in Hochwald überführt, wobei die ehemalige Nutzung als Mittelwald noch in vielen Beständen am Vorhandensein von Alteichen und typischen Wuchsmorphologien (sog. „Mittelwaldeichen“) erkennbar ist (Bärnthol 2003, Walentowski et al. 2006). Auf vielen Standorten der Fränkischen Platte, die momentan von Eichen bestockt sind, würde die Buche den Bestandaufbau dominieren, so dass auch in diesem Wuchsgebiet die Eiche nur durch menschliche Einflussnahme flächig in Beständen dominieren kann.

Auf beiden Versuchsstandorten entsprechen Basensättigung und Klima den Ansprüchen der Traubeneiche für gutes bis sehr gutes Wachstum. Die Wuchspotenz der Buche führt unter natürlichen Bedingungen allerdings zu sehr geringen Eichenanteilen an der Bestockung und flächiges Eichenvorkommen wäre auf Sonderstandorte wie südexponierte Rippen oder staunasse Örtlichkeiten begrenzt. Gezielte Eichenwirtschaft auf weiter Fläche wie sie heute angetroffen werden kann, setzt also menschliche Intervention voraus. Hierfür bestehen in beiden Gebieten tradierte und funktionierende waldbauliche Strategien.

### 3.2 Versuchsanlage und Darstellung des bisherigen Versuchverlaufs

Im folgenden Kapitel wird die Versuchsanlage des Traubeneichenpflegeversuchs dargestellt, die verschiedenen Pflegeregimes benannt und der bisherige Versuchverlauf über die Zeit abgehandelt.

#### Versuchsbestände

Im folgenden Kapitel werden die Versuchsbestände des Traubeneichenpflegeversuchs charakterisiert und beschrieben.

#### Einteilung der Versuchsbestände in waldbauliche Wuchsklassen

Der Traubeneichenpflegeversuch wurde im Jahr 1984/1985 in weitestgehend ungepflegten, jungen aus Saat hervorgegangenen Traubeneichenbeständen angelegt. Die Versuchspartellen dienen seitdem als Dauerbeobachtungsflächen. Die Einrichtung der Versuchsflächen erfolgte in möglichst jungen Beständen, da erzielbare Effekte nur für jung in Behandlung genommene Bestände angenommen wurden (Leibundgut 1976) und nach Utschig und Pretzsch (2001) Durchforstungen in bereits gereiften und älteren Eichenbeständen kaum mehr merklichen Einfluss auf das Wachstum ausüben. Der Entwicklungsgrad der Bestände wurde anhand des  $d_0^3$  beurteilt und die Bestände nach dem Schema waldbaulicher Wuchsklassen nach Mosandl und Paulus (2002) (Tabelle 3.1) eingeordnet.

Tab. 3.1: Natürliche Wuchsklassen – Einteilungsschema nach Mosandl und Paulus (2002)

von [cm] BHD	bis [cm] BHD	waldbauliche Wuchsklasse
0	7	Dickung
7	14	Stangenholz
14	28	geringes Baumholz
28	56	mittleres Baumholz
56	-	starkes Baumholz

Der Versuch wurde auf dem Standort Rohrbrunn in den drei waldbaulichen Wuchsklassen Dickung, Stangenholz und geringes Baumholz realisiert. In Kist konnten nur in den natürlichen Wuchsklassen Dickung und Stangenholz Beobachtungsflächen etabliert werden, da hier zu Versuchsbeginn kein ungepflegtes, eichen-dominiertes, geringes Baumholz vorhanden war. In Tabelle 3.2 sind die Namen der fünf Versuchsbestände und ihre waldbauliche Wuchsklasse bei Versuchsanlage sowie ihre Geologie, auf denen sie stocken, dargestellt.

<sup>3</sup>  $d_0$  beschreibt den Brusthöhendurchmesser (BHD) der 100 stärksten Bäume pro ha als arithmetisches Mittel (Kramer & Akça, 2008).



Tab 3.2: Benennung der Versuchsbestände

Geologie	Abteilung, in der der Versuchsbestand stockt	waldbauliche Wuchsklasse
Buntsandstein	„Jockel“	Dickung
	„Hehler“	Stangenholz
	„Stinkgräben“	geringes Baumholz
Muschelkalk	„Rindshügel“	Dickung
	„Ochsenau“	Stangenholz

### Entstehung und Geschichte der Bestände vor Versuchsbeginn

Alle fünf Versuchsbestände wurden durch Eichenleitersaat begründet. Das Säen der Eiche ist eine traditionelle und bewährte Methode der Eichenbegründung und insbesondere in Unterfranken die vorherrschende Form der Bestandesbegründung vor der Pflanzung (Vanselow 1960, Fleder 1981, Murat E 2005, Ötting 2011). Sie ist in ihrer Planung, Umsetzung und Wirkung auf die Entwicklung der Eichenkulturen gut erforscht und dokumentiert und führt nach wie vor zu Beständen überdurchschnittlicher Holzqualität im Vergleich zu Pflanzungen unterschiedlichster Art und Sortimentsverwendung (Szymanski 1986, Mosandl et al. 1988, Saha et al. 2012).

Analog zum allgemeinen Vorgehen der Eichenbegründung in Unterfranken wurden auch die Versuchsbestände des Traubeneichenpflegeversuchs klassisch begründet. Allen fünf Eichenbeständen dieses Versuchs gingen gemischte Laubholzwaldungen mit führender Buche voraus, die nach einem Eichenmastjahr durch sehr starke Schirmhiebe auf Bestockungsgrade um 0,2 gelichtet wurden. Lediglich einzelne Altbuchen wurden als Frostschutz und als Samenbäume auf den Flächen belassen. In angrenzenden Beständen innerhalb des Teilwuchsbezirks wurden Eicheln gesammelt und in den gelichteten Beständen im Herbst des Mastjahres in Leitersaat gesät (vgl. Vanselow 1960). Hierbei wurden etwa 600 kg bis 1300 kg Eicheln pro ha ausgebracht (Küster 2000). Auf den nicht mit Eiche eingesäten Flächenanteilen wurde natürlicher Buchenaufschlag von den belassenen Altbuchen erwartet, der i.d.R. zeitlich verspätet zur Eichenkeimung aufläuft. Somit erhält die Eiche auf den Saatflächen einen Wuchsvorsprung von ein bis drei Jahren gegenüber der Buche. Erreichen die jungen Eichen in etwa Kniehöhe und ist ausreichend begleitende Buchennaturverjüngung vorhanden, wird der Altholzschirm geräumt, damit das Höhenwachstum der jungen Eichen nicht durch den Buchenschirm gedämpft wird (vgl. Weinreich 2000). Falls die Naturverjüngung der Buche nicht ausreichend aufläuft, können Buchen nachgepflanzt werden. Der Jungeichenschirm dämpft im Regelfall das Höhenwachstum der Buche, so dass es auf den Buchenstandorten des *Fagetum* zu der unnatürlichen Situation mit der potentiell dominierenden Klimaxbaumart im Unterstand kommt.

Dieses Verfahren führt aus praktischen Erfahrungen mit hohen Erfolgchancen zu Eichenbeständen mit flächigem Buchennebenbestand, doch ist dauerhaftes Pflegen angesichts der Konkurrenzkraft der Buche im atlantischen Klima auf den Flächen absolut notwendig. Ein aktives Zurücknehmen durchstechender Buche ist unerlässlich, damit die Eiche nicht überwachsen wird und ausfällt. Die Eiche selbst verbleibt extensiv gepflegt in Kronenspannung, nur Protzen und Grobwüchse sowie herrschende Mischbaumarten werden entfernt. Derart verlief die Entwicklung der Versuchsflächen bis 1985. Die marginalen Pflegeeingriffe bis ins Jahr 1985 sowie Strukturdaten der Bestände vor Versuchsbeginn werden bei Küster (2000) dargestellt.

### **Behandlungsvarianten**

In jedem Bestand wurden vier verschiedene Behandlungsvarianten realisiert. Ziel war es dabei, möglichst die Bandbreite der in den 1970er und 1980er Jahren diskutierten vorstellbaren Eichenpflegemethoden hinsichtlich Eingriffsstärke und -zeitpunkt abzubilden. Darüber hinaus wurde im Gegensatz zur traditionellen Negativauslese die frühzeitige positive Förderung von jungen Eichenbeständen begonnen (vgl. Fleder 1981). Aufgrund des flächig vorhandenen Buchennebenbestands wurden bewusst nur Produktionsprogramme realisiert, die auf eine natürliche Astreinigung setzen und Astungsmaßnahmen ausklammern (vgl. Zieren 1970, Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Hochbichler & Krapfenbauer 1988; vgl. auch Mosandl & Knoke 2002).

Folgende vier Behandlungsvarianten wurden auf beiden Versuchsstandorten etabliert:

#### **Variante 0: Kontrolle**

Die Kontrollvariante wird seit dem Jahr 1985 nicht mehr waldbaulich behandelt und dient als Referenz- und Kontrollfläche zu den drei anderen waldbaulichen Durchforstungsregimes. In ihr wird das natürliche Konkurrenzgeschehen zwischen Eiche und Buche beobachtet. Die Kontrollflächen können auch als Stilllegungsflächen aufgefasst werden, so dass die Effekte von Flächenstilllegungen in Eichen-Buchen-Mischbeständen dokumentiert werden können.

#### **Variante 1: Negativauslese**

Diese Durchforstungsvariante wurde in das Versuchsgeschehen als Abbildung der früher weit verbreiteten Praxis der Negativauslese integriert (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981, Forstdirektion Unterfranken 2005). Ziel dieses Durchforstungskonzeptes ist es, durch die Entnahme der qualitativ schlechtesten Individuen des Bestandes, den Bestand nach jeder geführten Durchforstung qualitativ zu verbessern. Dazu beschränkt sich die Entnahme in dieser Durchforstungsvariante bei jedem Durchforstungsgang auf das schlechteste

Teilkollektiv der Eichen im Herrschenden sowie auf durchstechende Buchen und Mischbaumarten. Der Fokus wird nicht primär auf Z-Bäume oder eine aktive Beeinflussung von Konkurrenzverhältnissen gerichtet. Die Eingriffsstärke ist nicht quantifiziert, der Eingriff soll aber von eher mäßiger Stärke (Fleder 1981, Forstdirektion Unterfranken 2005) sein. Der Kronenschluss der Eichenbestände soll im gesamten Bestandesleben nicht oder zumindest nur sehr punktuell durchbrochen werden.

### **Variante 2: mäßige positive Auslese**

In der mäßig positiven Auslese wurden seit dem Jahr 1985 Ausleseebäume (seit 2012 Z-Stämme) aktiv gefördert, indem Bedränger entnommen wurden. Als solche wurden ein bis zwei mindestens mitherrschende oder herrschende Bäume nach der Kraft'schen Baumklasse (also Kraft'sche Klasse 1 bis 3) (Kraft 1884) pro Auslese- bzw. Z-Baum definiert. Der Kronenschluss wurde bedingt durch die relativ schwache Entnahme nicht wesentlich und vor allem nicht dauerhaft durchbrochen.

### **Variante 3: starke positive Auslese**

Dieses Durchforstungsregime hat zum Ziel, maximale Ressourcenallokation für den Auslese- bzw. Z-Stamm zu ermöglichen. Dies soll durch eine völlige Umlichtung des entsprechenden Individuums erreicht werden. Dafür wurde im Jahr 1985 die Stammzahl der Versuchsbestände dieser Variante in den Dickungen auf 7.000 Eichen pro ha reduziert, in den älteren natürlichen Wuchsklassen (Stangenholz und geringes Baumholz) wurden 2 bis 3 herrschende Bedränger entnommen, um die Krone zu umlichten. Im Jahr 2012 wurden die gewählten Z-Stämme komplett umlichtet und alle Bedränger entfernt, so dass stark freigestellte Z-Stämme in einer Matrix aus unbehandelten Zwischenfeldern verblieben.

### **Versuchsdesign**

Der Versuch ist in einem wiederholten Blockdesign angelegt, jede der vier Behandlungsvarianten wurde zweifach in jedem Bestand verwirklicht. Somit ergeben sich pro Bestand acht Versuchspartellen (Abbildung 3.4).

Jede Versuchspartelle besteht aus einer Kernfläche und einem Umfassungstreifen, der waldbaulich genauso behandelt wurde wie die Kernfläche. Der Umfassungstreifen dient der Abpufferung von Randeffekten. In den natürlichen Wuchsklassen Dickung und Stangenholz weisen die Partellen eine Größe von 35 m \* 35 m (1225 m<sup>2</sup>) auf, wobei die Kernfläche 25 m \* 25 m (625 m<sup>2</sup>) misst. Im geringen Baumholz wurden die Versuchspartellen im Jahr 1985 größer ausgeschieden, hier sind sie 50 m \* 35 m (1750 m<sup>2</sup>) groß, wobei die Kernflächen 40 m

\* 25 m (1000 m<sup>2</sup>) betragen. Aufgrund der fortgeschrittenen Bestandesentwicklung konnten so mehr Eichenstämme in den Versuchsaufbau integriert werden.

Da die Dickungen zu Versuchsbeginn sehr stammzahlreich waren, wurde in Anlehnung an Leibundgut (1976) nur in 5 m \* 5 m Quadraten an jeder Ecke der Versuchsparzelle gemessen. Ab dem Jahr 1997 wurden auch die Dickungen flächig vermessen. Nähere Informationen hierzu sowie Flächenpläne zu den Versuchsf lächen finden sich bei Sliwa (1986), Ecker (1992) und Küster (2000).

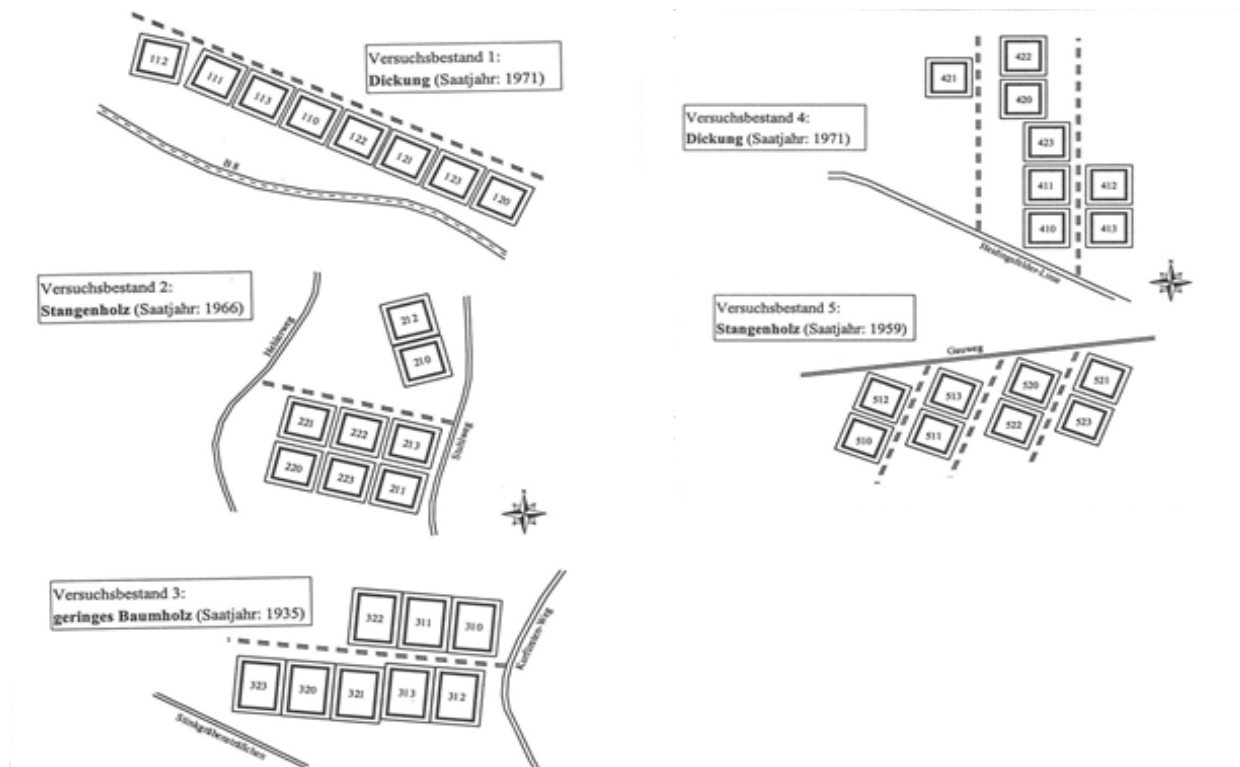


Abb. 3.4.: Lagepläne der Versuchsbestände im Traubeneichenpflegeversuch

### Darstellung des Versuchsverlaufs seit dem Jahr 1985

Seit der Anlage des Versuchs im Jahr 1985 wurden in den Bestände fünfmal Datenerhebungen sowie dreimal Pflegemaßnahmen durchgeführt. Tabelle 3.3 gibt hierüber detailliert Auskunft.

Tab. 3.3: Zeitlicher Ablauf von Messungen, Pflegeeingriffen und Auswahl von Ausleseebäumen im Eichenpflegeversuch

<b>Jahr</b>	<b>Messung</b>	<b>Pflegeeingriffe</b>	<b>Auswahl von</b>
1985	x	x	Ausleseebäumen
1990	x	-	Ausleseebäumen
1997	x	-	Ausleseebäumen
1998	-	x	-
2003	x	-	Ausleseebäumen
2012	x	x	Z-Stämmen

Bis ins Jahr 2003 fanden Messungen konsequent nur in den Kernflächen des Versuchs statt, wobei bis ins Jahr 1990 in den Dickungen nur an den vier Eckpunkten der Parzellen Teilflächen von je 25 m<sup>2</sup> gemessen wurden (vgl. Küster 2000). Im Jahr 2012 fanden alle bestandesbezogene Messungen in den Kernflächen statt, in den ehemaligen Dickungen und Stangenhölzern wurden jedoch auch in den Umfassungstreifen Z-Stämme erhoben. Das Behandlungsprogramm, das die einzelnen Versuchsparzellen seit Versuchsbeginn 1985 erfahren haben ist in Tabelle 3.4 dargestellt.

Tab. 3.4: Behandlungsprogramm der einzelnen Versuchspartzen seit Versuchsbeginn

Waldbauliche Wuchsklasse		Dickung		Stangenholz		geringes Baumholz
Standort		Buntsandstein	Muschelkalk	Buntsandstein	Muschelkalk	Buntsandstein
Jahr der Saat		1971	1971	1966	1959	1935
Alter bei Versuchsbeginn [a]		13	13	18	25	49
Alter 2012 [a]		41	41	46	53	77
Kontrolle „0“	1985	· Aushieb herrschender Mischbaumarten		· Aushieb herrschender Mischbaumarten		· Aushieb herrschender Mischbaumarten
	1998	· Aushieb herrschender Mischbaumarten		· Aushieb herrschender Mischbaumarten		· Aushieb herrschender Mischbaumarten
	2012	· keine Eingriffe		· keine Eingriffe		· keine Eingriffe
Negativauslese „1“	1985	· Aushieb herrschender Mischbaumarten · Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche		· Aushieb herrschender Mischbaumarten · Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche		· Aushieb herrschender Mischbaumarten · Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche
	1998	· Aushieb herrschender Mischbaumarten · Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche		· Aushieb herrschender Mischbaumarten · Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche		· Aushieb herrschender Mischbaumarten · Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche
	2012	· Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche		· Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche		· Entnahme und Köpfen herrschender Buche · Entnahme qualitativ schlechter Eiche

Tab. 3.4 (Fortsetzung): Behandlungsprogramm der einzelnen Versuchspartellen seit Versuchsbeginn

		Dickung		Stangenholz		geringes Baumholz
		Buntsandstein	Muschelkalk	Buntsandstein	Muschelkalk	Buntsandstein
Variante						
mäßige positive Förderung „2“	1985	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 7000 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 1000 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 500 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>
	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 1000 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 550 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 450 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>
	2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Auswahl von 100 Z-Stämmen ha<sup>-1</sup></li> <li>· Entnahme von 1-2 bedrängenden Eichen sowie aller bedrängender Buchen</li> <li>· Zwischenfelder verbleiben unbehandelt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Auswahl von 100 Z-Stämmen ha<sup>-1</sup></li> <li>· Entnahme von 1-2 bedrängenden Eichen sowie aller bedrängender Buchen</li> <li>· Zwischenfelder verbleiben unbehandelt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Auswahl von 100 Z-Stämmen ha<sup>-1</sup></li> <li>· Entnahme von 1-2 bedrängenden Eichen sowie aller bedrängender Buchen</li> <li>· Zwischenfelder verbleiben unbehandelt</li> </ul>
starke positive Förderung „3“	1985	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 7000 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 2-3 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 550 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 2-3 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 100 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>
	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 1000 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 2-3 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 550 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 2-3 stärksten Bedränger</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aushieb herrschender Mischbaumarten</li> <li>· Entnahme und Köpfen herrschender Buche</li> <li>· Förderung von 100 Ausleseebäumen ha<sup>-1</sup> durch Entnahme der 1-2 stärksten Bedränger</li> </ul>
	2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Auswahl von 100 Z-Stämmen ha<sup>-1</sup></li> <li>· Entnahme aller bedrängenden Eichen und Buchen</li> <li>· Zwischenfelder verbleiben unbehandelt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Auswahl von 100 Z-Stämmen ha<sup>-1</sup></li> <li>· Entnahme aller bedrängenden Eichen und Buchen</li> <li>· Zwischenfelder verbleiben unbehandelt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· Auswahl von 100 Z-Stämmen ha<sup>-1</sup></li> <li>· Entnahme aller bedrängenden Eichen und Buchen</li> <li>· Zwischenfelder verbleiben unbehandelt</li> </ul>

Zur individuellen Identifizierung der Bäume wurden zu Versuchsbeginn Kunststoffplaketten angebracht. Mäusefraß sowie Verwitterung ließen diese im Lauf der Jahre unlesbar werden, so dass im Jahr 2012 alle Z-Stämme mit Metallidentifikationsmarken versehen wurden. Vor den durchgeführten Messungen wurden alle Parzellen neu eingemessen und verpflockt. Das Auszeichnen der 40 Versuchspartellen erfolgte vor den Messprogrammen nach den in den Tabellen 3.4 und 3.5 vordefinierten Kriterien und durch einen konsequent einheitlichen Personenkreis. Hierdurch sollte eine maximal-stringente Programmumsetzung im Traubeneichenpflegeversuch sichergestellt werden.

Tab. 3.5: Eckpunkte der waldbaulichen Behandlung in den Traubeneichenbeständen im Jahr 2012

Variante	Z-Baum-Auswahlkriterien	Abstände zwischen Z-Stämmen	Entnahmestärke pro Z-Stamm	Akzeptierte Baumarten als Z-Stämme	Art der Durchforstung
Kontrolle „0“	Vitalität	-	keine	alle (Eiche und Buche)	keine
Negativauslese „1“	Vitalität vor Qualität	-	keine	Eiche	flächig
mäßige positive Förderung „2“	Vitalität vor Qualität vor räumlicher Verteilung	10 m – mind. 8 m	1-2 Bedränger	Eiche	punktuell
starke positive Förderung „3“	Vitalität vor Qualität vor räumlicher Verteilung	10 m – mind. 8 m	alle Bedränger auf 10 Jahreshorizont	Eiche	punktuell

#### **Variante „virtuelle Bäume“**

Im Jahr 1998 kam es im Zuge der durchgeführten zweiten Pflege zu einer nicht konsequenten Umsetzung der Pflegeanweisung auf einzelnen Versuchsflächen, vor allem auf Flächen des Durchforstungsregimes 2 und 3. Dies kann anhand Abbildung 3.5. aufgezeigt werden. In Abbildung 3.5 wird die Verteilung der geförderten und entnommenen Bäume über das BHD-Spektrum im Jahre 1998 nach der zweiten Pflege wiedergegeben. Es wird darin ersichtlich, dass in allen Beständen im Durchforstungsregime „1“ (Negativauslese) bei der Auslese die Vitalität der Qualität untergeordnet wurde. Das heißt, dass bevorzugt aus den schwächeren BHD-Klassen Ausleseebäume gewählt wurden und bei der Auswahl qualitativ hochwertigere Stämme den „protzig-vorwüchsigen“ (hohe Vitalität) vorgezogen wurden. Dieses Vorgehen war im Sinne der Versuchsdurchführung korrekt, da die Negativauslese als eine Art Abbildung der waldbaulichen Praxis diese nachahmen sollte.

Die Problematik ergibt sich dann allerdings dadurch, dass die Wahl von Ausleseebäumen auch in den positiven Förderungen (Durchforstungsregime „2“ und „3“) in derselben Form umgesetzt wurde. Dies ist daran erkennbar - (insbesondere in den beiden jüngsten Beständen „Jockel“



und „Rindshügel“) - dass in diesen Behandlungsvarianten die entnommenen Bedränger teilweise stärker waren als die eigentlichen Ausleseebäume. Somit wurden die vitalsten Stämme - Wilhelm et al. (1999) bezeichnen diese Bäume als „Supervitale“ im Bestandeskollektiv - mit dem höchsten Zuwachspotential entnommen. Dieses Vorgehen bei der Wahl der Ausleseebäume war nicht streng im Sinne der Versuchsdurchführung. Das nach der Durchforstung verbliebene Kollektiv der Ausleseebäume, aus dem sich im Jahr 2012 auch die Z-Stämme rekrutierten, stellt folglich nicht mehr das maximal mögliche Wuchspotential dar. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden für die Auswertungen der im Folgenden dargestellten Studien nicht nur die real festgestellten BHD der Z-Stämme aus dem Jahr 2012 analysiert, sondern auch virtuelle Bäume auf Basis von Jahrringbohrungen simuliert. Eine potentiell maximale Wuchsleistung sollte so für den Versuch wieder abbildbar gemacht

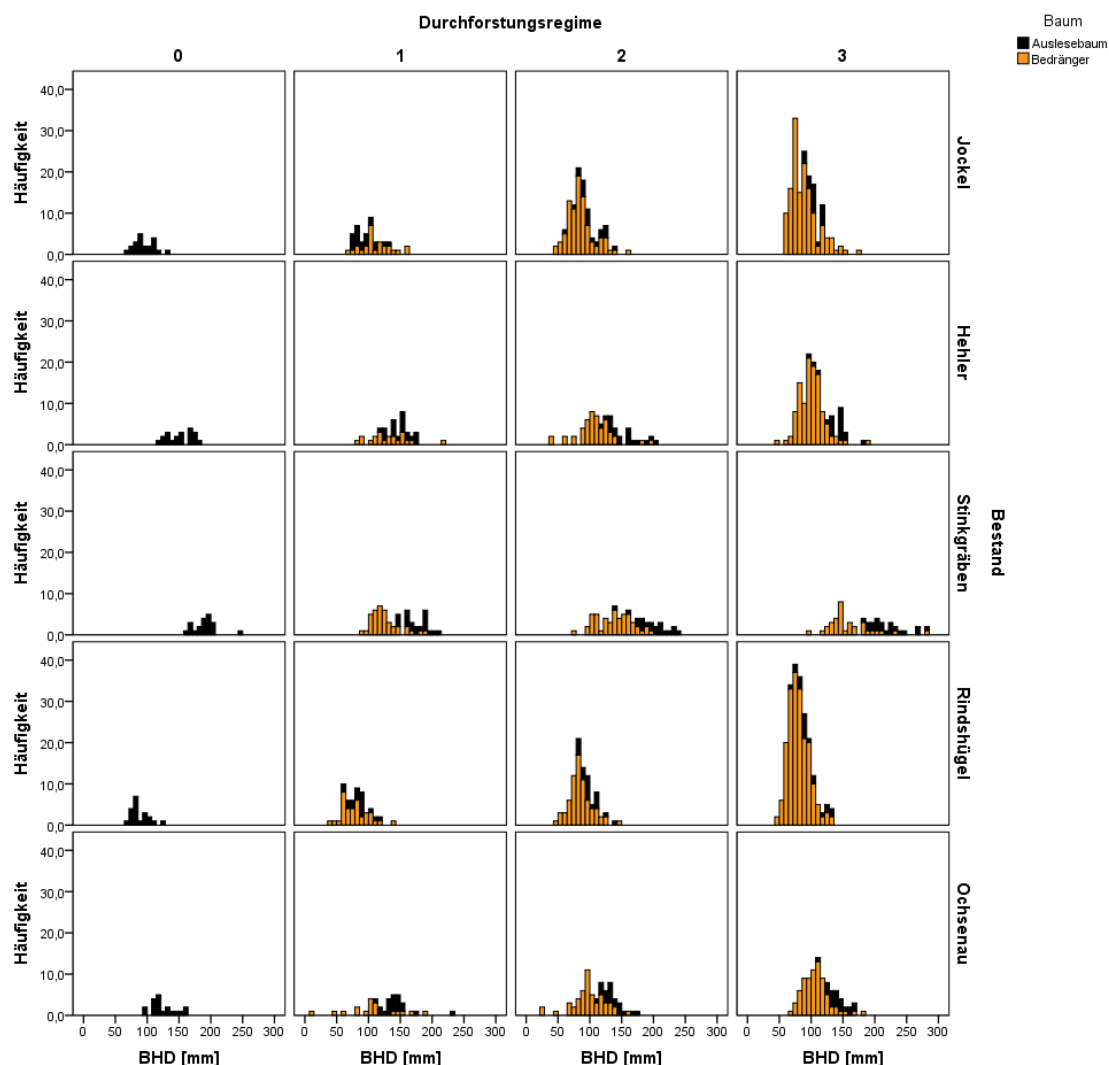


Abb. 3.5: Darstellung der Verteilung von Ausleseebäumen und entnommenen Bedrängern über das BHD-Spektrum in der zweiten Pflege im Jahr 1998 im Traubeneichenpflegeversuch

werden. Methodisch erklärt wird dies in der waldbaulichen Studie dieser Arbeit im Kapitel 4.2.4.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte finanzielle Studie baut ebenfalls auf diesen virtuellen Stämmen auf (siehe Kapitel 5.).

### **3.3 Zusammenfassung bisheriger Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs seit dem Jahr 1985**

In der Folge der Versuchsdurchführung und den Auswertungen der erfolgten Aufnahmen der Vergangenheit konnten im Traubeneichenpflegeversuch wertvolle und forst-praktisch relevante Erkenntnisse erzielt werden. Diese basieren auf einander und stehen in zeitlicher Abfolge zueinander. Im Folgenden werden diese chronologisch und komprimiert dargestellt.

#### **Ergebnisse der Aufnahmen aus dem Jahr 1985**

Die erste Analyse nach Anlage des Versuchs zeigte, dass das Begründungssystem der Leitersaat konsequent zu hochwertigen Beständen führte und somit nachweislich der Wertholzproduktion dienlich ist. In ihrer Ausstattung mit positiven Bestandesmitgliedern wurde das Produktionsziel Wertholzproduktion der untersuchten Bestände als durchweg erreichbar eingeschätzt. Bereits in jungen Altern (damals 13-jährige Dickungen) konnte die positive Wirkung eines dienenden Bestands aus Buche für die natürliche Astreinigung und die Ansatzhöhe der ersten Grünäste dokumentiert werden. Diese positive Wirkung setzte sich auch in den älteren Beständen fort. Die übermäßig hohen Stammzahlen der gesäten Bestände (teilweise über 70.000 Eichen pro Hektar) ließen aber Vitalitätsverluste sowie gehäuft schlechte Stammformen (bspw. Krümmungen) erkennen (Sliwa 1986). Pflegeeingriffe auch in sehr jungen (dichten) Eichenbeständen wurden darum als notwendig identifiziert.

Für diese notwendigen Pflegemaßnahmen konnte eine Faustformel entwickelt werden, wonach altersunabhängig der Abstand zwischen potentiellen Ausleseebäumen etwa einem Drittel ihrer Höhe entsprach (Mosandl et al. 1988). Diese aus den Untersuchungsergebnissen abgeleitete Handreichung kann als Durchforstungshilfe in jungen Eichenbeständen dienen – beachtet werden muss aber, dass nicht jeder dieser Bäume auch gefördert wird.

#### **Ergebnisse der Aufnahmen im Jahr 1990**

In der Folgeaufnahme fünf Jahre nach Versuchsbeginn zeigte sich wiederholt, dass der Fokus der Eichenpflege auf vitale Stämme gelegt werden muss. Die Ausscheidungsprozesse in den Beständen liefen überaus dynamisch, der Grad der Intensität nahm mit dem Alter ab. Die natürliche Astreinigung in den Eichenjungwüchsen verlief ebenfalls sehr dynamisch und intensiv. So konnte beschrieben werden, dass sich innerhalb von fünf Jahren an fast 50 % der Ausleseebäume ehemals vorhandene Verzweiselungen reinigten und klare Schaftachsen erkennbar waren (Küster 2000). Eine Konzentration auf die vitalsten Stämme konnte als unverzichtbar identifiziert werden, wenn möglichst große Effekte im Durchmesserwachstum erzielt werden sollen. Zusätzlich spielt das Alter der Eichen eine wesentliche Rolle – junge Bestände reagierten intensiver auf die Durchforstungen als Ältere. Die klassische Variante der (unterfränkischen) Eichenbehandlung, die Negativauslese, erfüllte die Erwartungen an dieses

Produktionsprogramm, indem die Qualität der derart behandelten Bestände durch Entnahme vitaler Grobwüchse erhöht wurde (Ecker 1992).

Analog zur Aufnahme aus dem Jahr 1985 konnten wieder stellenweise Überdichten festgestellt und biometrisch beschrieben werden. Für die Dickungen konnte mit 40.000 Eichen pro Hektar ein Grenzwert festgelegt werden, ab dem mit Sicherheit Überdichte und damit Vitalitätsschwund und Zuwachsstagnation besteht (Mosandl et al. 1991). Kritische  $h/d$ -Werte<sup>4</sup> von über 130 bei 6 m Bestandesoberhöhe bzw. ein Bekronungsgrad kleiner 50 % gaben klare Hinweise auf Wuchsstagnation. In den älteren Beständen waren an den Eichen diese klar biometrisch benennbaren Kriterien nicht mehr zu identifizieren, aber der Buchennebenbestand übernahm eine Weiserfunktion für Überdichte. Kümmerte dieser angesichts von Lichtmangel, so war Überdichte gegeben.

Aufgrund der hohen Bestandesdynamik im herrschenden Bestandeskollektiv und der noch nicht beurteilbaren Qualitätsentwicklung der vitalsten Stämme (vgl. Verzweiselungsdynamik weiter oben) konnte durch den Versuch zu dem Zeitpunkt gezeigt werden, dass eine frühe Festlegung von Z-Stämmen in dicht gesäten Eichenbeständen nicht möglich ist. Gerade die jüngsten Bestände zeigten, dass Auslesedurchforstungen zielführender waren, um den hochdynamischen Prozessen in Eichenjungwüchsen Rechnung zu tragen.

### **Ergebnisse der Aufnahmen im Jahr 1997**

Im Jahr 1997, zwölf Jahre nach Versuchsbeginn, wurden erneut Erhebungen auf den Versuchsflächen durchgeführt. Die vier unterschiedlichen Durchforstungsregimes des Traubeneichenpflegeversuchs zeigten zu diesem Aufnahmezeitpunkt bereits unterschiedliche Wirkung auf das Wachstum der jungen Eichen. Es wurde abermals deutlich, dass jung in Behandlung genommene Bestände stärker auf die Behandlung reagierten als Ältere. Intensiv positiv gepflegte Eichen der Dickungsstufe (im Alter 13 in Behandlung genommen) wiesen mittlere Jahrringbreiten von 3,5 mm auf, die der Negativauslese nur 1,5 mm. Es zeigte sich auch, dass Pflegeeffekte schnell verpufften und teilweise nach fünf Jahren wieder Wuchsstagnation durch Konkurrenz beobachtbar war (Küster 2000). Hieraus lassen sich direkt Zeitternusse für Pflegeintervalle ableiten, wenn maximales Wachstum zur Produktionszeitverkürzung angestrebt wird.

Die Eichen reagierten neben dem Durchmesserzuwachs auch mit der Erhöhung der individuellen Stabilität auf die positive Förderung. Die zu Versuchsbeginn in den Dickungen beschriebenen Schlankheitsgrade von über 145 stabilisierten sich auf etwa 100, wobei positiv geförderte Eichen nach  $h/d$ -Wert stabiler waren als ungeförderte Individuen. Der

---

<sup>4</sup> Der  $h/d$ -Wert ist ein allometrisch-biometrisches Maß, das den Quotienten von Höhe zu Brusthöhendurchmesser eines Baumes beschreibt

Astreinigungsprozess wurde durch die unterschiedlichen Behandlungsvarianten nicht signifikant beeinflusst, die astfreie Schaftlänge lag jedoch gerade in den Dickungen im Alter 25 Jahre trotz dienendem Bestand bei nur 2,5 m. Erst ab einem Alter von fast 40 Jahren waren in den Beständen astfreie Schaftlängen von etwa 5 m erreicht worden, was auf ein nahes Ende der Qualifikationsphase hindeutet (Küster 2000). Demnach konnten die Astreinigungsprozesse in der Eiche als langwierig identifiziert werden.

Die Evaluierung der Eingriffe zeigte, dass sich durch positive Förderung von Eichen durch Entnahme von 1-2 Bedrängern pro Auslesebaum signifikante Effekte bzgl. des Durchmesserwachstums erzielen ließen. Diese mussten nicht mit Qualitätseinbußen erkaufte werden, denn auch die klassisch negativ ausgelesenen Eichen zeigten keine besseren Schaftformen. Allerdings sind die fördernden Eingriffe in ihrer Wirkung zeitlich stark limitiert und verpuffen rasch, da die jungen Eichen eine enorme Wuchsdynamik an den Tag legen und Öffnungen des Kronendachs schnell wieder schließen. Ein Eingriffsturnus von 1-2 Eingriffen pro Jahrzehnt erscheint deshalb angebracht.

### **Ergebnisse der Aufnahmen im Jahr 2003**

Die Ergebnisse der Folgeaufnahme im Jahr 2003 untermauerten die, bei den vorangegangenen Untersuchungen wiederholt getroffene Feststellung, dass eine allzu frühzeitige Festlegung von Z-Stämmen in jungen Eichendickungen als nicht sinnvoll erachtet werden muss. Wiederholte Auslesedurchforstungen bei 2 bis 2,5-mal mehr Kandidaten als letztendlich fixen Z-Stämmen (d.h. 150 bis 200 Kandidaten bei ca. 80 Z-Stämmen) wird empfohlen, um im Stangenholzstadium mit relativ hoher Sicherheit Z-Stämme wählen zu können. Diese Z-Stämme verbleiben letztendlich herrschend und überzeugen qualitativ.

Es zeigte sich durchgängig, dass überdicht aufgewachsene Eichen ein stark vermindertes Durchmesserwachstum aufweisen. Der BHD-Unterschied zwischen geförderten und ungeförderten Individuen vergrößert sich im Bestandesleben, die ungeförderten Bäume holen die Rückstände im Dickenwachstum im Lauf der Zeit nicht mehr auf.

Frühzeitig geförderte junge Bäume zeigen stärkere Reaktionen auf die Förderung als Ältere und/oder schwach Geförderte. Auch die Wiederholungsaufnahme im Jahr 2003 ließ keine statistisch signifikant festzustellenden Qualitätseinbußen der geförderten Bäume erkennen. Allerdings verlief die natürliche Astreinigung der intensiv positiv geförderten Bäume tendenziell etwas langsamer als die der klassisch Gepflegten (El Kateb et al. 2006).

## 4 Waldbauliche Studie

### 4.1 Einleitung

„Keine Experimente!“ war und ist das Motto der unterfränkischen Eichenwirtschaft (Fleder 1981). Für die waldbauliche Behandlung von Werteichenbeständen galten und gelten bis heute tradierte Meinungen und Vorstellungen, die durchaus sehr dogmatisch gelehrt und gelebt werden. Dichteste Begründung mittels Saat, Jahrzehnte währender Dichtstand, verhaltene Durchforstungseingriffe mit Hieb auf den schlechten Stamm und Kronenspannung der ausgelesenen Bestandesmitglieder bis zum Ende der Umtriebszeit prägten und prägen das waldbauliche Vorgehen in Eichenbeständen. Unter Inkaufnahme sehr langer Produktionszeiten führen diese Behandlungsweisen anhand vieler so behandelter Bestände nachweislich zu hochwertigsten Eichenbeständen – eine konsequente Umsetzung vorausgesetzt. Forstlich berühmte Bestandesbilder aus dem bayerischen und hessischen Spessart, dem Pfälzerwald, der Schwäbischen Alb oder auf der fränkischen Platte zeigen das eindruckliche Resultat dieser Behandlung.

Die Ausgestaltung und Erprobung dieses waldbaulichen Verfahrens resultierte allerdings nicht allein aus der forstlichen Forschung und Praxis, sondern war auch auf historisch gewachsene, rechtliche Rahmenbedingungen zurückzuführen. Dies zeigt sich insbesondere im Spessart. Dort gestatteten die Kurfürsten von Mainz in den sogenannten Spessartrechten nur solches Brennholz zu klauben, das als Dürholz durch natürliche Mortalität anfiel (Vanselow 1960). Um entsprechende Mengen an Brennholz zu generieren, wurden die (Eichen-)jungbestände 60 Jahre und länger unbehandelt gelassen. Auf diese Weise unbehandelte Jungbestände, von führender Traubeneiche mit beigemischter dienender Buche, entwickelten sich zu den von Vanselow (1960), Fleder (1976 & 1981 & 1988) und Preushler & Stögbauer (1990) beschriebenen Werteichenbeständen.

Fleder (1976 & 1981 & 1988) prägte für diese Art von waldbaulichem Vorgehen in Traubeneichenbeständen den Begriff „Negativauslese“. Systematisch praktiziert wurde diese allerdings bereits seit dem frühen 19ten Jahrhundert (Vanselow 1960, Fleder 1976). Es stellt bis dato das Standardverfahren der Eichenwirtschaft dar und gilt als Musterverfahren der waldbaulichen Eichenbehandlung in Deutschland und dem gesamten mitteleuropäischen Raum. So entstanden auch die bekannten Werteichenbestände in Frankreich - wie beispielsweise der Eichenwald von Tronçais (Bary-Lenger & Nebout 1993 & 2004, Sevrin 1997) – in denen ähnliche Bewirtschaftungsverfahren zur Ausführung kamen.

Aufgrund der mit diesen Bewirtschaftungsverfahren einhergehenden Risiken wurde in den 1970er Jahren begonnen alternative Ansätze der Eichenwirtschaft zu entwickeln. Die Negativauslese als „alternativloses“ waldbauliches Vorgehen wurde zusehends in Frage

gestellt. Die Eichenwirtschaft insgesamt wurde kritisch hinterfragt und beleuchtet. Dabei war im Wesentlichen die Notwendigkeit einer Verkürzung der Umtriebszeit angesichts betriebswirtschaftlicher Überlegungen in der Eichenwirtschaft der Anlass für diese Ansätze (Bartelheimer 1991). Die aufkommende Diskussion zur Wirtschaftlichkeit der Eichenbewirtschaftung spiegelt sich auch in der Stagnation der Flächenausstattung mit Eiche in dieser Zeit. Alternative waldbauliche Ansätze wurden in dieser Zeit insbesondere von Carbonnier (1975), Korpel (1974), Leibundgut (1976), Schaper (1978), Schütz (1979) und Krapfenbauer & Hochbichler (1984) ins Spiel gebracht, die entgegen der vorherrschenden Lehrmeinung eine frühe Förderung der Eiche propagierten. Ziel war hierbei, den Kronenausbau vor der frühen Kulmination des Höhenwachstums dieser Baumart zu beginnen (Burschel & Huss 2003). Ein früher und intensivierter Kronenausbau sollte unter dem Eindruck hoher Produktionskosten letztlich zur Verkürzung der Umtriebszeiten führen. Alle genannten Autoren gingen dabei von der Annahme aus, dass ein großes Kronenvolumen mit hoher Assimilationsmasse zu verstärktem Durchmesserzuwachs und somit einer verkürzten Zeit bis zum Erreichen der Zielstärke führen würde. Als Extrem dieses Ansatzes verfolgten Jobling & Pearce (1977) sowie Kerr (1996) einer der Mittelwaldbewirtschaftung ähnliche Begünstigung von Eichen mit einem pseudosolitären Wuchs.

Eine durch diese Ansätze möglicherweise bedingte mangelnde Astreinigung wurde dabei vielfach ausgeblendet oder ihr offensiv mittels Astungen begegnet (Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Hochbichler & Krapfenbauer 1988, Hochbichler et al. 1990). Die Qualitätsverbesserung von Eichen durch Astungen stellte hierbei keine Innovation in der Eichenbewirtschaftung dar, da diese bereits für lichte Mittelwälder von Hamm (1900), Vlad (1940) sowie Köstler (1955) empfohlen und im Hochwald von Zieren (1970) und Holten (1986) erprobt und beschrieben wurde.

Mit der Zeit fand die Idee der frühen und progressiven Eichendurchforstung zunehmend Beachtung, was sich auch in einer Vielzahl von Forschungsarbeiten zu der Thematik wider spiegelt und deren Aktualität nach wie vor gegeben ist (vgl. Spiecker 1983 & 1991, Kenk 1984, Polge 1984, Spellmann & von Diest 1990, Wilhelm et al. 1999, Küster 2000, Mosandl & Paulus 2002, Hein & Dhôte 2006, Nagel 2007, Chroust 2007, Jensen & Skovsgaard 2009, Lemaire 2010, Storch 2011, Attocchi 2013, Wilhelm & Rieger 2013, Hardtke et al. 2016). Parallel vollzog sich mit den Forschungsarbeiten zur frühen Eichendurchforstung ein gewisser Paradigmenwechsel in der waldbaulichen und waldwachstumskundlichen Betrachtungsweise – ausgelöst durch Betrachtungen in Fichtenbeständen. Der Bestand als traditionell kleinste Behandlungseinheit trat zunehmend in den Hintergrund und der Einzelbaum geriet in den Fokus. Nicht die Wertleistung des gesamten Bestandes, sondern die des Einzelbaumes rückte dabei in den Vordergrund. Dieser Ansatz wurde in der Eichenbewirtschaftung zwar bereits

lange Zeit verfolgt, allerdings nicht konsequent bis zum Einzelbaum umgesetzt (vgl. Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010).

Die in den Forschungsarbeiten beschriebenen Ansätze und Ideen zur frühen und positiven Förderung der Eiche basierten allerdings auf verhältnismäßig jungen Versuchsflächen, unechten Chronosequenzen, kritischen Beobachtungen, Vermutungen, Erfahrungen und logischen Schlussfolgerungen sowie Theorien von Praktikern und Forstwissenschaftlern. Empirisch abgesichert blieb aber nur die Negativauslese als durchgehend exerziertes und damit belegtes Waldbauprogramm der Praxis. Die Diskussionen für und wider früher und intensiver Eichenförderung verliefen zwischen den Befürwortern der einzelnen waldbaulichen Pflegeansätze nicht immer nur auf einer fachlich-sachlichen Ebene; der Stand des Wissens war gering und Spekulationen und Vermutungen beherrschten vielfach den Diskurs (vgl. u.a. Fleder 1993).

Zur Versachlichung der Diskussion und zur Klärung der Frage, in wie weit das Durchmesserwachstum und die Qualitätsentwicklung von jungen Traubeneichen durch waldbauliche Behandlung gesteuert werden kann, wurde im Jahr 1984 der Traubeneichenpflegeversuch angelegt. In ähnlicher Weise wurde ein Versuch für *Quercus alba* in den USA etabliert (Dale & Sondermann 1984), der allerdings nicht systematisch wie der Traubeneichenpflegeversuch des Lehrstuhls für Waldbau über die Zeit fortgeführt wurde. Damit ist der Traubeneichenpflegeversuch des Lehrstuhls für Waldbau der Technischen Universität München in seiner Form weltweit einmalig. Aufgrund des direkten Vergleichs zwischen den Behandlungen über die Zeit können durch den Traubeneichenpflegeversuch Effekte der Behandlung auf Wachstum und Qualitätsentwicklung systematisch verglichen werden. Darüber hinaus lassen sich in beschränkterem Umfang auch Analogieschlüsse für Stieleichenbestände ziehen, da auch diese Eichenart frühzeitig im Höhenwachstum kulminiert.



## 4.2 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel werden Art und Weise der Datenaufnahme sowie –auswertung der waldbaulichen Studie dargelegt.

### 4.2.1 Datenerhebung

Die Datenaufnahme erfolgte im Winter der Jahre 2012/2013 unter Beachtung der Empfehlungen von Ammer et al. (2004). Die Aufnahmesystematik lehnte sich stark an das Vorgehen von Küster (2000) an. Metrisch erhoben wurden hierbei alle BHDs der stockenden Bäume mittels  $\Pi$ -Maßband, getrennt nach Baumart und nach der Z-Stamm-Eigenschaft. Aus diesen Daten errechnete sich die Bestandesgrundfläche  $G$  der Versuchsbestände nach

$$G = \sum_{\text{aller Bäume}} BHD^2 / 4 * \pi.$$

Der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes  $d_g$  wurde als biometrischer Kennwert der Bestände für die einzelnen Versuchspartellen nach der Formel

$$d_g = \sqrt{\frac{\sum n_i d_i^2}{N}}$$

berechnet und ausgewiesen.

Darüber hinaus wurden bei den Z-Stämmen die astfreie Schaftlänge, die Kronenansatzhöhe sowie die Scheitelhöhe mittels Vertex IV-GS der Firma Haglöf bestimmt. Aus den Scheitelhöhen der 100 stärksten Bäume pro Hektar wurde die Oberhöhe  $h_0$  als arithmetisches Mittel der Z-Stämme errechnet (Kramer & Akça 2008). Mittels der Differenz von Kronenansatzhöhe und astfreier Schaftlänge wurde die Totastzone der Eichen ermittelt. Wobei die Kronenansatzhöhe als die Höhe festgelegt wurde, an der der erste Primärast der Eichen auftrat. Klebäste und Wasserreiser wurden nicht zur Definition der Kronenansatzhöhe herangezogen. Für die Definition der astfreien Schaftlänge wurde festgelegt, dass keinerlei Art von Ast oder Aststummel am Holzkörper ersichtlich sein durfte.

Zusätzlich zu den Messungen in vertikaler Ebene wurden auch die acht Kronenradien  $r_{1-8}$  der Z-Stämme horizontal nach den Haupthimmelsrichtungen erhoben. Dies erfolgte über die Tangential-Hochblick-Methode (vgl. Preuhsler 1979, Röhle 1986) vom Kronenrand bis zum Stammmittelpunkt mittels forstüblicher Maßbänder. Aus den Kronenradien errechnete sich nach Kramer & Dong (1985) die Kronenschirmfläche  $CC$  der Z-Stämme nach

$$CC [m^2] = ((\sum r_{1-8}) / 8)^2 * \pi.$$

Neben den genannten metrischen Daten wurden kategorial für die Z-Stämme des Traubeneichenpflegeversuchs folgende Parameter abgeprüft: Das Auftreten von Schäden am Rinden- und ggfs. Holzkörper, das Vorhandensein von Beulen und Maserkröpfen sowie die Kraft'sche Klasse nach Kraft (1884). Das Auftreten von Krümmungen wurde für jeden Z-Baum beurteilt. Schiefstand wurde als gerader Wuchs definiert, wenn die Wuchsachse des Baumes in sich gerade war und eine normale Verarbeitbarkeit des Stammes angenommen werden durfte. Verzweigungen, die nach ihrem Auftreten oder Fehlen erhoben wurden, wurden nur als solche definiert, wenn der schwächere Ast mindestens 75% der Höhe und des Durchmessers des stärkeren Asts erreichte. War dies nicht gegeben, so lag lediglich Steilastigkeit vor.

Das Auftreten von Wasserreisern, die typischerweise mit der Baumart Eiche assoziiert sind, wurde in zwei Kategorien erhoben. In einem Boniturbereich bis auf fünf Meter Höhe, von fünf bis zehn Meter Höhe sowie oberhalb von zehn Metern (Baumkrone) wurde die Anzahl der Wasserreiser erhoben und anschließend kategorisiert. Hierbei wurde von sehr guter Qualität ausgegangen, wenn maximal ein Wasserreiser pro Laufmeter auftrat – auf fünf Meter Boniturbereich also maximal fünf. Traten mehr Wasserreiser auf, so wurden die Bäume in die schlechtere Kategorie eingruppiert.

Um zu einer zusammenfassenden Qualitätsbeurteilung zu gelangen wurde jedem Z-Stamm ein Qualitätsindikator zugewiesen. Dieser war dichotom, so dass ein Baum entweder hervorragend oder aber mangelbehaftet war. Mängel waren z.B. Beulen, Krümmungen, Verletzungen, erhöhter Wasserreiserbesatz oder mehr als 3 Totäste unterhalb der Kronenbasis. Alle für die vorliegende waldbauliche Studie relevanten erhobenen Variablen werden in Tabelle 4.1 ausgewiesen.

Für die Jahrringanalysen, die aufgrund der inkonsequenten Pflege von 1998 (siehe Kapitel 3.2) vorgenommen wurden, konnten pro Behandlungsvariante in jedem Bestand fünf Eichen entlang des vorkommenden BHD-Gradienten zufällig ausgewählt und ein Bohrkern entnommen werden. Verwendet wurden hierfür Zuwachsbohrer der Firma Haglöf. Pro Baum wurden immer zwei Kerne im 90° Winkel zueinander gewonnen (Ausrichtung nach Norden und Westen), so dass Verzerrungen der Zuwachsermittlung durch Reaktionsholzbildung vermieden wurden (Pretzsch 1996). Die Bohrkern wurden im Anschluss mit Hilfe eines Core Microtom-Schneidgerätes präpariert und anschließend mit einem Lichtmikroskop (MS5 von Leica-Wetzlar, Deutschland) vermessen (Abb. 4.1). Hierfür kam die Software TSAP-Win Scientific 4.67 (Rinntech 2007) zum Einsatz. Der verwendete LINTAB 6 Messtisch (Rinntech 2007) ermöglichte eine Vermessung von Früh- und Spätholzbreiten mit einer Genauigkeit 1/100 mm. Die gemessenen Zuwächse, die die Einzelbäume seit dem Jahr 1998 bis einschließlich dem Jahr 2012 (Messzeitpunkt realer Z-Stämme) geleistet hatten, wurden

anschließend aufsummiert. Es ergaben sich pro Bestand und Behandlung fünf Zuwachswerte und somit 200 Stück (40 Bestände \* 5 Messungen) für den gesamten Versuch.

Tabelle: 4.1: Erhobene Variablen für die waldbauliche Studie

Variable	Abkürzung	Einheit	metrisch / kategorial	Bemerkungen
Baumart	-/-	-/-	kategorial	-
Brusthöhendurchmesser	BHD	cm	metrisch	real oder simuliert nach verschiedenen Wuchsszenarien
Scheitelhöhe	H	cm	metrisch	-
Kronenansatzhöhe	KAH	cm	metrisch	-
astfreie Schaftlänge	ASF	cm	metrisch	-
Totastzone	TAZ	cm	metrisch	-
Kronenradien	r	cm	metrisch	jeweils 8 pro Baum
Schäden, Beulen, Maserkröpfe	-/-	ja/nein	kategorial	-
Krümmungen	-/-	ja/nein	kategorial	-
Kraft'sche Klasse	-/-	1,2,3,4,5	kategorial	-
Verwieselungen	-/-	ja/nein	kategorial	schwächerer Ast mind. 75% des Durchmessers des Stärkeren
Wasserreiser	WR	ja/nein	kategorial	in 3 Höhenstufen (0-5m, 5-10m, >10m) erhoben



Abb. 4.1: Mikroskopisches Bild eines Bohrkerns in 100-facher Vergrößerung (die Jahringgrenzen sind durch die Ringporigkeit gut zu erkennen und mit einem Pfeil gekennzeichnet).

### 4.2.2 Art der statistischen Datenauswertung

Im Folgenden werden die Methoden dargestellt, mit denen die erhobenen abhängigen Daten hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von der waldbaulichen Behandlung analysiert wurden.

#### Linear mixed model - LMM

Das Design des Traubeneichenpflegeversuchs basiert auf einer hierarchischen Anordnung der Versuchskomponenten (auch „nested design“ genannt (Field 2009)). Die Versuchslogik fußt auf einem Kollektiv von (hypothetisch) unabhängigen Einzelbäumen, die in räumlich getrennten Versuchsplots stocken. Diese Versuchsplots gehen ihrerseits in Behandlungsvarianten auf. Die oberste Hierarchieebene bilden die beiden Standortseinheiten (vgl. Mosandl et al. 1991) Abbildung 4.2 zeigt abstrahiert die Hierarchieebenen des Traubeneichenpflegeversuchs.

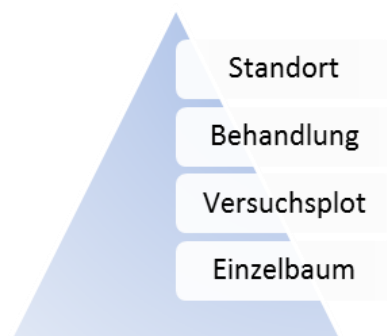


Abb. 4.2: Schematische Darstellung der vier Hierarchieebenen des Traubeneichenpflegeversuchs

Aufgrund dieser hierarchischen Clusterung des Versuchsaufbaus ist die Verwendung regulärer varianzanalytischer Verfahren wie lineare Regression oder ANOVA unter Wahrung der methodischen Voraussetzungen hinsichtlich der Unabhängigkeit der Beobachtungen nicht möglich (Field 2009).

Es wäre möglich gewesen, die Mittelwerte der einzelnen Plots für klassische Varianzanalyse zu verwenden, aber dann hätten nur zwei Wiederholungen pro Variante zu Verfügung gestanden – eine statistische Auswertung hätte kaum erfolgen können und wäre stark aggregiert erfolgt. Durch die Verwendung von LMMS wurde der Vorteil erzielt, dass auf Einzelbaumebene analysiert werden konnte und wesentlich detailliertere Einzelinformation zur Verfügung stand.

Es wurde ein hierarchisches lineares gemischtes Modell (abgekürzt LMM) (Field 2009, Heck et al. 2010) zur Analyse der erhobenen abhängigen Variablen (vgl. Tab 4.1) des Traubeneichenpflegeversuchs eingesetzt. Innerhalb der hierarchischen Struktur des Versuchs konnte man erwarten, dass es Unterschiede zwischen den unterschiedlich waldbaulich

behandelten Eichen aufgrund von Umwelteinflüssen durch die räumlich getrennte Lage der Versuchsbestände geben würde (Störeinflüsse und „statistisches Rauschen“). In dieser Struktur ist die Verwendung eines LMM robuster als die klassischen Varianzanalysen (Piepho et al. 2003).

Innerhalb der LMMs wurde als die hierarchische Stufe mit Clusterungseffekt, die die Abhängigkeit der Beobachtungen impliziert, hier der Versuchsplot definiert (im Statistikpaket SPSS (IBM SPSS Statistics 2011) „Subjekt“ genannt). Der Standort als dichotome Variable und direkte korrespondierende Variable zum Versuchsplot wurde in der Betrachtung der abhängigen Variablen ausgeklammert, da er nach  $\rho$ -Kriterium (Intraklassenkorrelation bzw. ICC) mit 4,8% bei der Analyse der Brusthöhendurchmesser als vernachlässigbar eingestuft wurde (Field 2009, Heck et al. 2010). Zur Aufrechterhaltung der Konsistenz der Analysen und aufgrund seines marginalen Einflusses wurde der Einfluss des Standorts, ausgedrückt als eigene hierarchische Ebene, aus den LMMs herausgehalten. Gerechnet wurden „Random intercept“ Modelle der Form

$$Y_{ij} = b_{0j} + b_1 X_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

wobei

$$b_{0j} = b_0 + u_{0j}$$

den „mixed“ Anteil des Modells verkörpert. Die getesteten metrischen, abhängigen Variablen wie Höhe, BHD usw. sind durch  $Y_{ij}$  ausgedrückt,  $b_1$  steht für den festen Effekt im Modell,  $X_{ij}$  symbolisiert die unabhängigen Einflussvariablen (= waldbauliche Behandlung) und  $\varepsilon_{ij}$  steht für den nicht erklärten Anteil der Varianz im Modell.

Von der Verwendung von „random slope models“, die noch robustere Analysen erlauben, wurde abgesehen, denn laut Heck et al. (2010) bedarf es für „random slope models“ großer Stichprobenumfänge, die im Traubeneichenpflegeversuch mit nur 2 Behandlungsplots pro Behandlungsvariante und damit einer limitierten Anzahl von Einzelfallbeobachtungen nicht gegeben waren. „Random intercept models“ zeichnen sich bei diesen Voraussetzungen durch eine höhere statistische Robustheit aus als „random slope models“ (Field 2009). Als Kovarianzmatrix für den zufälligen Ploteffekt wurde eine einfache Matrix der Varianzkomponenten gewählt, da nur ein zufälliger Effekt (der Versuchsplot) in der Analyse beinhaltet ist (Field 2009):

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Die Datenbasis des Traubeneichenpflegeversuchs wurde nach den 3 Altersklassen des Traubeneichenversuchs aufgeteilt (Dickung, Stangenholz, Baumholz) und nach den jeweiligen Altersklassen getrennt ausgewertet. Auf eine Zusammenführung der Altersklassen als unechte, da räumlich unabhängig zusammengeführte Chronosequenz mit Hilfe einer random slope (zufällige Zeiteffekte) wurde verzichtet, da die Eichenbestände in unterschiedlichen physiologischen Altern in Behandlung genommen wurden. Wahre Chronosequenz war somit durch Behandlung in unterschiedlichen physiologischen Altern nicht gegeben und eine der Kernfragen des Traubeneichenpflegeversuchs – wann in jungen Eichenbeständen mit der Pflege begonnen werden sollte – ließe sich derart nicht beantworten. Nichtlineare Effekte können darüber hinaus nicht über ein LMM abgebildet werden und biologische Wachstumseffekte über die Zeit sind in der Regel nichtlinear und können auch nicht mit Transformationen linearisiert werden.

Die Parameter der Schätzung wurden nach der Methode Maximum Likelihood („ML“) bestimmt. Field (2009) sowie Heck et al. (2010) plädieren zwar bei der Datenanalyse mittels LMM für die Schätzung der Modellparameter mit der Methode „REML“ (restricted maximum likelihood). Beide Autoren verweisen allerdings auch darauf, dass bei der Verwendung der Parameterschätzungsmethode „ML“ kaum Unterschiede zu „REML“ zu erwarten sind. Für die in dieser Studie durchgeführten Analysen wurde mittels der Methode „ML“ gerechnet, da Vergleiche zwischen Modellen unternommen wurden. Hierfür ist die Verwendung von „ML“ obligatorisch, da bei Modellvergleichen nicht mit der REML-Methode operiert werden darf (Field 2009, Heck et al. 2010). In der Datenanalyse wurde schrittweise von einer einfachen ANOVA zum LMM geschätzt. Hierfür wurde

$$\chi^2_{Change} (df_{new}-df_{old}) = (-2\log-Likelihood_{new}) - (-2\log-Likelihood_{old})$$

berechnet und nach kritischen Chi-Quadrat Werten nach Signifikanzniveau  $p = 0.05$  beurteilt. War  $\chi^2_{Change}$  größer als der kritische Wert der Chi-Quadrat-Verteilung, wurde das Modell angenommen. Dieses Vorgehen wurde dem bei LMM empfohlenen WaldZ-Test vorgezogen, da dieser nach Field (2009) für Zufallsfaktoren in seiner Aussagekraft eingeschränkt sein kann. Für die derart geschätzten Modelle wurden Residuendiagramme erstellt. Für die Bewertung der Normalverteilung wurde eine optische Überprüfung durchgeführt. Als Ausreißer identifizierte Residualwerte wurden nach gängiger Praxis aus der Analyse entfernt. Ausreißer wurden normkonform als solche identifiziert, wenn sie  $\pm 1,96$  Standardabweichungen vom

Mittelwert entfernt lagen. Modelle mit akzeptablen Residualverteilungen wurden angenommen. Um eine Normalverteilung der Residuen bei unakzeptablen Q-Q-Plots zu erreichen, wurden für ausgewählte Variablen Transformationen verwendet (Urban 1982, Field 2009). Dazu wurde für die Kronenschirmflächen der Eichen der natürliche Logarithmus zur Basis  $e$  herangezogen. Die Signifikanzwerte für die fixen Faktoren der Analyse (Waldbauliche Behandlung und Standort) wurden nach „Sum of Squares type III“ berechnet (West et al. 2007, Field 2009). Das Signifikanzniveau lag hierbei bei  $\alpha = 0.05$ . Zeigten die fixen Faktoren (=waldbauliche Behandlung) Signifikanz an, so wurden paarweise Vergleiche mit Hilfe des „Least significant differences“ „LSD“ Tests durchgeführt. Die notwendige Anpassung der Mehrfachvergleiche erfolgt über eine Bonferroni Korrektur. Die Schätzungen der LMM wurden mit dem Programmpaket IBM SPSS v19 (IBM SPSS Statistics 2011) mittels des Befehls „MIXED“ vorgenommen.

### **Klassische varianzanalytische Datenauswertungen**

Neben den LMMs wurden lineare Regressionen sowie lineare Varianzanalysen (ANOVA) zur Analyse der vorliegenden Daten hinsichtlich eines Einflusses der waldbaulichen Behandlung herangezogen. Dies erfolgte bei unabhängig von Versuchsstruktur und –design durchgeführten Auswertungen, insbesondere bei der Erstellung von Höhenkurven. Die Berechnung der Höhenkurven dienten der Massenermittlung auf den Versuchsflächen und wurden über alle Versuchsflächen für die Baumarten Eiche und Buche geschätzt (siehe Kapitel 3). Zur Einhaltung der Testvoraussetzung der Normalverteilung der Residuen wurden die erhobenen Daten BHD und Höhe transformiert. Transformiert wurde mittels des natürlichen Logarithmus zur Basis  $e$ , dem Kehrwert des natürlichen Logarithmus zur Basis  $e$  sowie der Quadratwurzel-Funktion (Urban 1982, Backhaus et al. 2011, Field 2009). Dadurch konnte eine Normalverteilung der Daten und folglich der Residuen erreicht werden. Schrittweise wurden bei den Regressionen Einzeldatensätze, deren standardisierte Residualwerte absolut über 3,29 lagen, aus der Analyse entfernt, da diese absolut hohen Residualwerte das Modell verzerrten.

Ein möglichst hohes  $R^2$  wurde als Ausdruck der Erklärungskraft des berechneten Modells angesehen. Es wurde in der Wahl zwischen vergleichbaren geschätzten Modellen als Entscheidungskomponente berücksichtigt. Zur Akzeptanz der ANOVA, die im Zuge der linearen Regression mitgerechnet wurde, wurde Signifikanz und ein möglichst maximaler F-Wert verlangt. Ebenso mussten zur Annahme des Modells die Koeffizienten der Regressionsschätzung signifikant sein, der VIF-Wert wurde bei absolut 10 beschränkt. Kollinearität wurde durch einen Konditionsindex von möglichst geringem absolutem Wert im Modellvergleich ausgeschlossen. Mittels Histogrammen und P-P-Plots wurden die Residuen optisch geprüft und mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Da die

Stichprobenumfänge eine ausreichende Größe aufwiesen und demnach nicht mit dem weniger robusten Shapiro-Wilk-Test gearbeitet werden musste, kann von statistischer Robustheit der Modelle ausgegangen werden (Urban 1982, Backhaus et al. 2011, Field 2009).

### **Analysemethoden kategorialer Daten**

Nicht-metrische Daten nach Tabelle 4.1 wurden mittels Verfahren ausgewertet, die Ursache-Wirkung-Beziehungen quantifizieren konnten.

### **$\chi^2$ -Tests**

Kategoriale Daten wurden mittels Chi-Quadrat-Tests analysiert, falls die Wirkung lediglich einer unabhängigen Variable auf eine abhängige Variable untersucht wurde. In diesem Fall wurde mit Kreuztabellen operiert. Eine generelle Voraussetzung der Analysen war, dass erwartete Häufigkeiten kleiner fünf in maximal 20% der Fälle auftraten. Bei Erfüllung dieser Restriktion wurde der Chi-Quadrat-Test nach Pearson mit asymptotischer zwei-seitiger Signifikanz nach  $p = 0.05$  geprüft. War die Einhaltung der Testvoraussetzungen der erwarteten Häufigkeiten gegeben, wurde der „Exakte Test“ nach Fisher (Field 2009) angewandt. Die Residuen der Chi-Quadrat Tests unterlagen der Vorgabe, den absoluten Wert von  $\pm 1.96$  Standardabweichungen einzuhalten. Effektstärken der Chi-Quadrat-Tests wurden über die symmetrischen Maße nach Cramer-V beurteilt (bis 0,1 schwach, bis 0,4 mittel, darüber stark). Neben den Effektstärken wurden für 2x2-Tabellen Wahrscheinlichkeiten („odds“) zur Beurteilung von statistischen Effekten berechnet. Abbildung 4.3 verdeutlicht das Prinzip der Berechnung der odds.



		Merkmal 1	
		0	1
Merkmal 2	0	<b>X</b>	<b>Q</b>
	1	<b>Y</b>	<b>Z</b>

Abb. 4.3: Matrix zur Berechnung von odds

$$Odd = (X/Y) / (Q/Z)$$

Die Interpretation der errechneten Wahrscheinlichkeiten über die reine statistische Analyse hinaus erfolgt im Diskussionsteil der vorliegenden Studie.

### Log-lineare Analysen

Als kategoriales Pendant zu einer varianzanalytischen Analyse metrischer Daten dienen Log-lineare Analysen zur Identifikation von Wirkungsursachen auf Effekte abhängiger, dichotomer Variablen. Bei Einhaltung der Testvoraussetzungen (maximal 20% der erwarteten Zellen kleiner 5, keine kleiner 1) sind sie ein verlässliches statistisches Instrument zur Analyse kategorialer Daten analog zu einer ANOVA oder Regression (Field 2009).

Die Durchführung der Analysen erfolgte mit gesättigten Modellen (Field 2009). Im log-linearen Modell wurde zuerst auf die maximale Dimension an möglichen Interaktionseffekten innerhalb der Daten geprüft (K). Dies erfolgte mittels des letzten im Modell verbleibenden signifikanten Chi-Quadrat Wertes im Likelihood-Quotient. Der Fehler  $\epsilon$  des Modells ist hierbei gleich Null. Daraufhin wurden partielle Zusammenhänge berechnet und nach partiellem Chi-Quadrat die Signifikanz getestet, wobei die Signifikanzschwelle mit  $p = 0.05$  angesetzt war. Es erfolgte abschließend eine Zusammenfassung der Schritte, bei der das Modell reduziert wurde. Schrittweise wurden alle Interaktionen entfernt, bis eine signifikante Änderung der „likelihood ratio statistic“ erfolgte, die im Folgenden beschrieben ist:

$$L\chi^2_{change} = L\chi^2_{current\ model} - L\chi^2_{previous\ model}$$

An dieser Stelle wurde die Entfernung der Interaktionen gestoppt. Anschließend wurden Goodness-of-Fit Tests durchgeführt, namentlich waren dies die „Likelihood Ratio“ sowie „Pearson’s Chi-Quadrat“. Als signifikant identifizierte Variablen (ohne Interaktionen) wurden anschließend einem Chi-Quadrat Test (s.o.) unterzogen, um sie in ihrer direkten Wirkung einschätzen zu können. Handelte es sich um dichotome Variablen (z.B. die Variable Standort), so wurden die odds berechnet (s.o.).

#### 4.2.4 Wuchssimulationen für virtuelle Bäume

Im Jahr 1998 wurde im Rahmen der Pflegeeingriffe in den Versuchsbeständen nicht konsequent im Sinne der ursprünglichen Versuchsidee gehandelt (vgl. Kapitel 3.2). In der Folge waren ungeförderte Bäume in den Kontrollflächen stärker dimensioniert als gleichalte, geförderte Individuen in den Flächen mit positiver Auslese. Um diese eingriffsbedingten Verzerrung auszugleichen, wurden in den Durchforstungsregimen „2“ und „3“ die fälschlicherweise entnommenen Bäume virtuell in ihrem Wachstum fortgeschrieben. Die Fortschreibung wurde auf der Grundlage von Jahrringanalysen an im Bestand verbliebenen Bäumen vorgenommen.

Virtuelle Bäume sind immer Bäume, die aus den Aufnahmen von 1997 ausgewählt wurden und auf die die ermittelten Zuwächse aufgesetzt wurden. Ob der Baum 2012 noch real existierte spielte keine Rolle. Die virtuellen Bäume im Durchforstungsregime „2“ (mäßige positive Förderung) und „3“ (starke positive Förderung), deren Wachstum fortgeschrieben wurde, wurden in allen fünf Beständen folgendermaßen ausgewählt:

Aus den Aufnahmedaten von Küster (2000) wurden die jeweils 6 (im Bestand „Stinkgräben“ 10) stärksten Eichen auf den Plots herausgesucht. Insgesamt standen somit 136 Bäume zur Verfügung, auf die die mittels der Jahrringanalysen ermittelten Zuwächse aufgesetzt werden konnten ( $4 \text{ Bestände} * 2 \text{ Durchforstungsregime} * 2 \text{ Plots} * 6 \text{ Bäume} + 1 \text{ Bestand} * 2 \text{ Durchforstungsregime} * 2 \text{ Plots} * 10 \text{ Bäume}$ ).

Bei der Wuchsfortschreibung wurden zwei Szenarien simuliert. Das „average growth“-Szenario basiert auf einer Wuchsfortschreibung mittels arithmetisch gemittelten Jahrringbreiten aller sechs (im Bestand „Stinkgräben“ zehn) stärksten Eichen vor der Durchforstung im Jahr 1998. Beim „best-growth“-Szenario wurde der jeweils maximal zuwachsende Baum gewählt und auf Basis dieses Einzelbaumes das Bestandeswachstum simuliert. Daraus ergab sich pro Bestand und Behandlung ein virtueller Brusthöhendurchmesser der jungen Traubeneichen als Vergleichswert für die Wuchsbeurteilung. In den Behandlungsvarianten „0“ (Kontrolle) und „1“ (Negativauslese) hingegen wurden aufgrund der konsequent über die Zeit richtigen Versuchsdurchführung die real gemessenen BHDs der Z-Stämme für die Analysen herangezogen. Auf das Generieren virtueller Bäume wurde in diesen beiden Durchforstungsregimes verzichtet.

## 4.3 Ergebnisse

### 4.3.1 Bestandesweise Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs

Tabelle 4.2 gibt Auskunft über die Kennwerte der Bestände zu Versuchsbeginn im Jahr 1985 (nach Sliwa 1986) sowie vor den Eingriffen der dritten Pflege bzw. fünften Aufnahme im Jahr 2012. Auffällig sind hierbei die seit Versuchsbeginn anhaltend hohen Stammzahlen des Traubeneichenpflegeversuchs von bis zu über 7.000 Stämmen pro Hektar. Korrespondierend hierzu sind Grundflächenhaltungen von bis zu 41,1 m<sup>2</sup> pro Hektar zu verzeichnen. Zwar sind die Baumzahlen seit dem Jahr 1985 stark gesunken, die verbliebene absolute Anzahl an Stämmen pro Hektar ist aber weiterhin als verhältnismäßig hoch zu bezeichnen. Die Gesamtgrundflächen pro Hektar der einzelnen Versuchsbestände mit ihren vier Durchforstungsregimes unterschieden sich zwischen den Behandlungsregimes kaum. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich die Effekte der letzten Pflege aus dem Jahr 1998 wieder verwachsen hatten und die Bestände wieder als pflegebedürftig einzustufen sind.

Die errechneten Oberhöhen zeigen, dass die Versuchsbestände in sich homogen erwachsen sind und unterschiedliche Behandlungsregime innerhalb einer Altersklasse und eines Standortes kaum zu Unterschieden in der Oberhöhe geführt haben (vgl. dazu Kapitel 4.3.2.3). Die Oberhöhen der Eichen aus dem Versuch weisen nach Ertragstafel ein ausgezeichnetes Wachstum auf, besser als Ertragsklasse I (Jüttner 1955) und spiegeln die unterschiedlichen Alter der Bestände durch Altersdifferenzierungen wider. Deskriptiv sind keine Unterschiede zwischen den beiden Standorten Buntsandstein und Muschelkalk festzustellen.

Die hohen Stammzahlen der Buchen, die die Anzahl der Traubeneichen teilweise deutlich übersteigen, zeugen von der intensiven, einzelstammweisen Mischung mit der Traubeneiche. Die geringen Grundflächenhaltungen der Buche, gepaart mit den geringen absoluten Werten für die Grundflächenmittelstämme  $d_g$  zeigen, dass die Buche dienend in den Beständen stockt. Eine Ausnahme bilden die beiden Kontrollflächen auf den Kalkstandorten („Kist“), die hohe  $d_g$ -Werte, hohe Stammzahlen und sehr hohen Grundflächen pro Hektar in der Buche aufweisen. Auf den Kontrollflächen des Buntsandsteins („Rohrbrunn“) ist dieses Phänomen so nicht zu beobachten.

Tabelle 4.3 zeigt als Fortsetzung von Tabelle 4.2 in analoger Weise das Eingriffsgeschehen in den Beständen und weist biometrische Kennwerte nach den Durchforstungen im Jahr 2012 aus. Auf den Kontrollflächen sind im Sinne der Versuchsidee keine Entnahmen zu verzeichnen. Die Negativauslesen und schwachen positiven Auslesen unterscheiden sich in ihren Entnahmesätzen wenig und führen nach den hier gezeigten Kennwerten zu ähnlichen biometrischen Bestandeskennwerten. Die starken positiven Auslesen hingegen heben sich nach den Entnahmesätzen stark von den anderen drei Behandlungsregimes ab. Hier wurden über 11 m<sup>2</sup> Grundfläche pro Hektar allein an Traubeneichen entnommen. Addiert man die

Nutzungen von Traubeneichen und Buchen, so ergeben sich Entnahmen von bis zu 13,1 m<sup>2</sup> Grundfläche pro Hektar im ältesten Versuchsbestand „Stinkgräben“.

Die Durchforstungen beeinflussten auch den  $d_0$  der Traubeneichen. Rechnerisch unterlag er einer Verschiebung und fiel nach den Durchforstungen absolut geringer aus. Grund hierfür ist die Entnahme starker Bedränger der Z-Stämme. Zugunsten schwächerer, nicht bedrängender Stämme änderte sich dadurch das Verhältnis von starken zu schwachen Stämmen. Nachdem bei den Durchforstungen die starken, vorwüchsigen Z-Stämme erhalten blieben, änderte sich die Oberhöhe im Gegensatz zum  $d_0$  nicht. Die Grundflächenhaltungen der Versuchsbestände zeigten nach den Eingriffen eine deutliche Differenzierung innerhalb der verschiedenen Behandlungsregime. Diese rein deskriptiven Ergebnisse machen deutlich, dass es gelang, die Bestände gemäß der Versuchsidee unterschiedlich zu behandeln und zu entwickeln und so den Versuch gemäß der zugrundeliegenden Idee weiterzuführen. Eine Differenzierung der einzelnen Behandlungsvarianten konnte durch die Durchforstungen erreicht werden. Für zukünftige Versuchsaufnahmen und -auswertungen wurde mit der dritten Pflege eine der Versuchsentention entsprechende Basis geschaffen.

Ein wesentliches Ergebnis des Traubeneichenpflegeversuches ist es, dass sich im Jahr 2012 für die Auswahl der Z-Stämme gemäß den Vorgaben des Behandlungsprogramms (vgl. Kap. 3.2) in jeder der 40 Versuchspartellen genügend Z-Stämme bestimmen ließen. Ohne Ausnahme konnten in allen Versuchsbeständen aus ausreichend vorhandenen Optionen jeweils mindestens 100 Z-Stämme pro Hektar ausgewählt werden (Abt et al. 2012).

Tab. 4.2: Kennwerte der Bestände zu Versuchsbeginn im Jahr 1985 sowie vor den Eingriffen der dritten Pflege bzw. fünften Aufnahme im Jahr 2012, nach Baumarten getrennt.

Bestand / Geologie	natürliche Wuchsklasse bei Versuchsbeginn	Alter bei Versuchsbeginn/ bei Aufnahme [a]	Parzelle	1985 bei Versuchsbeginn						2012 vor Eingriff								
				dg [mm]		N/ ha [tsd]		G/ ha [qm]		Bestand		Eiche				Buche		
				Eiche	Buche	Eiche	Buche	Eiche	Buche	N/ha	G/ha	dg [mm]	N/ha	G/ha [qm]	h0 [m]	dg [mm]	N/ha	G/ha [qm]
"1" Jockel Buntsandstein	Dickung	13 / 41	10	19	12	42,5	0,8	8,5	0	4336	33,4	110,5	3216	30,7	19,5	55,3	1120	2,7
			11	20	8	37,9	3,4	7,9	0,1	6664	33,4	95,0	4248	29,4	16,6	46,8	2416	4,0
			12	18	14	53,1	1,6	9,5	0,2	5456	31,0	97,3	3808	28,0	17,5	48,3	1648	3,0
			13	22	13	38,6	2	10,1	0,1	5144	30,7	115,3	2488	26,0	18,5	48,9	2656	4,7
"2" Hehler Buntsandstein	Stangenholz	18 / 46	20	55	13	9,3	5,7	21,8	0,7	4664	36,5	142,1	2008	32,0	21,5	46,5	2656	4,6
			21	53	20	10,1	2,2	22,2	0,1	4256	37,0	145,9	2144	34,5	21,2	38,1	2112	2,5
			22	47	14	13,5	5,3	23,0	0,4	4056	32,1	144,8	1688	27,7	21,4	49,3	2368	4,4
			23	43	11	15,0	9	21,6	0,3	6152	32,6	121,0	2432	27,7	20,4	41,0	3720	4,9
"3" Stinkgräben Buntsandstein	Baumholz	49 / 77	30	109	40	2,6	3,5	24,7	3,2	3105	41,1	170,7	1500	34,1	24,4	78,0	1605	6,9
			31	99	35	3,3	4,7	25,2	4,1	4115	37,3	156,2	1580	30,1	23,1	60,7	2535	7,2
			32	109	36	3,0	3,6	27,9	3,2	3305	37,4	170,1	1325	30,1	23,2	68,8	1980	7,3
			33	106	36	3,0	1,7	26,6	1,4	2910	34,8	155,2	1595	30,3	23,2	66,3	1315	4,5
"4" Rindshügel Muschelkalk	Dickung	13 / 41	40	19	16	68,9	4,5	13,8	0,8	5360	37,3	108,2	2072	19,8	18,1	82,3	3288	17,5
			41	18	15	80,6	3,4	13,1	0,4	7384	32,4	84,6	5312	29,8	16,9	40,5	2072	2,6
			42	20	24	58,5	4,4	14,0	1,3	4912	31,1	110,0	2960	28,1	18,1	44,2	1952	3,0
			43	18	20	64,7	6,2	11,8	0,9	5392	29,4	110,7	2744	25,3	17,2	44,6	2648	4,0
"5" Ochsenau Muschelkalk	Stangenholz	25 / 53	50	47	35	12,8	3,6	20,8	3,1	4088	37,9	132,7	1320	18,3	21,6	94,9	2768	19,6
			51	47	39	11,4	4,6	20,1	4,4	4416	37,8	141,3	1864	29,2	21,7	66,1	2552	8,5
			52	48	33	11,6	5	19,7	3,8	4496	34,9	148,6	1680	27,7	20,6	58,0	2816	7,2
			53	49	34	11,1	6	19,3	4,9	3664	33,4	168,7	1216	24,6	21,0	67,8	2448	8,8

Tab. 4.3: Kennwerte der Bestände zu Versuchsbeginn im Jahr 1985 sowie nach den Eingriffen der dritten Pflege bzw. fünften Aufnahme im Jahr 2012, nach Baumarten getrennt.

Bestand / Geologie	natürliche Wuchsklasse bei Versuchsbeginn	Alter bei Versuchsbeginn/ bei Aufnahme [a]	Parzelle	Entnahme 2012				2012 nach Eingriff								
				Eiche		Buche		Bestand		Eiche			Buche			
				N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	dg [mm]	N/ha	G/ha [qm]	h0 [m]	dg [mm]	N/ha	G/ha [qm]
"1" Jockel Buntsandstein	Dickung	13 / 41	10	0	0,0	0	0,0	4336	33,4	110,5	3216	30,7	19,5	55,3	1120	2,7
			11	176	2,4	64	0,6	6424	30,5	93,1	4072	27,0	16,6	43,9	2352	3,4
			12	136	2,5	24	0,2	5296	28,4	94,5	3672	25,5	17,5	47,3	1624	2,8
			13	600	9,9	104	0,5	4440	20,3	104,3	1888	16,1	18,5	46,8	2552	4,1
"2" Hehler Buntsandstein	Stangenholz	18 / 46	20	0	0,0	0	0,0	4664	36,5	142,1	2008	32,0	21,5	46,5	2656	4,6
			21	160	5,3	40	0,2	4056	31,4	139,1	1984	29,1	21,2	37,3	2072	2,3
			22	88	3,2	32	0,2	3936	28,7	139,8	1600	24,5	21,4	48,5	2336	4,2
			23	392	9,4	88	0,3	5672	22,8	107,3	2040	18,3	20,4	40,1	3632	4,6
"3" Stinkgräben Buntsandstein	Baumholz	49 / 77	30	0	0,0	0	0,0	3105	41,1	170,7	1500	34,1	24,4	78,0	1605	6,9
			31	85	2,4	385	3,4	3645	31,6	154,0	1495	27,7	23,1	47,4	2150	3,8
			32	100	4,8	65	0,9	3140	31,6	162,1	1225	25,3	23,2	65,5	1915	6,4
			33	465	11,4	165	1,7	2280	21,7	145,6	1130	18,8	23,2	56,3	1150	2,8
"4" Rindshügel Muschelkalk	Dickung	13 / 41	40	0	0,0	0	0,0	5360	37,3	108,2	2072	19,8	18,1	82,3	3288	17,5
			41	176	2,3	168	0,7	7040	29,4	82,6	5136	27,5	16,9	37,8	1912	1,9
			42	112	2,5	32	0,2	4768	28,5	107,1	2848	25,6	18,1	43,4	1920	2,8
			43	528	9,3	104	0,5	4760	19,6	98,3	2216	16,1	17,2	43,2	2544	3,6
"5" Ochsenau Muschelkalk	Stangenholz	25 / 53	50	0	0,0	0	0,0	4088	37,9	132,7	1320	18,3	21,6	94,9	2768	19,6
			51	144	2,5	480	4,2	3792	31,2	140,8	1720	26,8	21,7	52,5	2072	4,4
			52	136	4,2	16	0,1	4344	30,6	143,3	1544	23,5	20,6	57,6	2800	7,1
			53	344	10,2	312	2,4	3008	20,8	155,9	872	14,3	21,0	61,9	2136	6,4

### 4.3.2 Einzelbaumweise Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs

#### 4.3.2.1 Real gemessene Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme

Tabelle 4.5 zeigt, dass ungeförderte Traubeneichen (Pflegeregime „0“) aus den Kontrollversuchsflächen tendenziell keine niedrigeren Brusthöhendurchmesser aufweisen als Individuen, die intensiv gefördert wurden. Die geschätzten LMMs zeigen keinen systematischen Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den erreichten Brusthöhendurchmesser des Jahres 2012/2013. Tabelle 4.4 weist die statistischen Kennwerte der Analyse des Einflusses der waldbaulichen Behandlung auf den erreichten realen Brusthöhendurchmesser der Traubeneichen aus.

Tab. 4.4: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die realen Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme

Altersklasse	df	F-Wert	Signifikanz p
ehemalige Dichtung	3	3,455	<b>0,046</b> <sup>5</sup>
ehemaliges Stangenholz	3	2,263	0,121
ehemaliges Baumholz	3	0,192	0,899

Lediglich in der jüngsten Altersklasse wird sehr knapp ein statistisch signifikanter Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den BHD durch das LMM ausgewiesen. Die Interpretation dieses Ergebnisses erfolgt über paarweise Vergleiche, die in Tabelle 4.6 dargestellt sind. In Tabelle 4.5 sind die Mittelwerte der Brusthöhendurchmesser der stärksten Eichen angegeben. Der Befund, dass die Traubeneichen des Pflegeversuchs in ihrer Wuchsreaktion auf Freistellungen nicht den gängigen Erwartungen entsprechen, war der Grund für tiefer gehende Nachforschungen, bei denen sich dann Hinweise auf die inkonsequenten Pflegemaßnahmen aus dem Jahr 1998/1999 ergaben (vgl. Kapitel 3.2). Dies schlägt sich in den präsentierten Realergebnissen auf den Versuchsflächen nieder, in denen die Datenauswertung eine tendenziell stärkere Dimensionierung ungeförderter Traubeneichen ergab. Die inkonsequente Pflege bewirkte auch, dass unabhängig von der rechnerischen Verschiebung eines reduzierten BHD der drei aktiven Pflegeregime zugunsten der Kontrollvarianten auch innerhalb der aktiv beeinflussten Behandlungsvarianten keine systematischen Wuchsvorsprünge der positiv geförderten Traubeneichen zu verzeichnen sind.

<sup>5</sup> Einfache Signifikanz nach  $p < 0.05$  ist in der vorliegenden Arbeit in allen Kapiteln mit einem einzelnen \* gekennzeichnet. Hochsignifikante Effekte nach  $p < 0.000$  werden mit \*\* gekennzeichnet.

Tab. 4.5: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Brusthöhendurchmesser (BHD) [mm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	210,0	23,84	250,0	162,5	12
	Negativauslese	184,6	20,17	215,0	157,0	12
	mäßige positive Förderung	197,3	24,77	245,0	165,0	12
	starke positive Förderung	199,4	22,22	250,0	177,0	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	246,9	25,80	297,5	205,0	12
	Negativauslese	240,2	23,33	275,0	207,5	12
	mäßige positive Förderung	241,9	22,46	282,0	215,0	12
	starke positive Förderung	252,5	30,30	315,0	222,0	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	278,6	25,53	325,0	227,5	20
	Negativauslese	273,3	32,38	320,0	227,0	20
	mäßige positive Förderung	278,9	28,95	340,0	235,0	20
	starke positive Förderung	278,3	42,94	362,5	207,5	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	189,4	28,27	247,5	147,5	12
	Negativauslese	181,5	12,97	205,0	160,0	12
	mäßige positive Förderung	206,7	21,60	252,5	180,0	12
	starke positive Förderung	215,8	23,01	255,0	187,0	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	207,5	20,32	245,0	182,5	12
	Negativauslese	252,0	29,74	322,5	212,0	12
	mäßige positive Förderung	239,2	21,33	270,0	210,0	12
	starke positive Förderung	257,5	35,83	332,5	195,0	12



Tab. 4.6: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf den realen Brusthöhendurchmesser

Altersklasse	(I) Waldbauliche Behandlung	(J) Waldbauliche Behandlung	Differenz der Mittelwerte (I-J)	Standardfehler	Freiheitsgrade	Signifikanz	95% Konfidenzintervall für Differenz	
							Untergrenze	Obergrenze
1	0	1	19,704*	8,256	14,009	,032*	1,998	37,411
		2	-,701	8,440	13,966	,935	-18,807	17,405
		3	-3,964	8,427	13,882	,645	-22,053	14,125
	1	0	-19,704*	8,256	14,009	,032*	-37,411	-1,998
		2	-20,405*	8,287	14,240	,027*	-38,152	-2,658
		3	-23,668*	8,274	14,151	,012*	-41,397	-5,939
	2	0	,701	8,440	13,966	,935	-17,405	18,807
		1	20,405*	8,287	14,240	,027*	2,658	38,152
		3	-3,263	8,458	14,102	,705	-21,392	14,865
3	0	3,964	8,427	13,882	,645	-14,125	22,053	
	1	23,668*	8,274	14,151	,012*	5,939	41,397	
	2	3,263	8,458	14,102	,705	-14,865	21,392	
2	0	1	-18,679	9,105	15,587	,057	-38,023	,664
		2	-20,267*	9,145	15,864	,042*	-39,667	-,866
		3	-19,148	9,148	15,876	,053	-38,554	,258
	1	0	18,679	9,105	15,587	,057	-,664	38,023
		2	-1,587	9,141	15,847	,864	-20,981	17,807
		3	-,468	9,144	15,860	,960	-19,868	18,931
	2	0	20,267*	9,145	15,864	,042*	,866	39,667
		1	1,587	9,141	15,847	,864	-17,807	20,981
		3	1,119	9,185	16,138	,905	-18,338	20,576
3	0	19,148	9,148	15,876	,053	-,258	38,554	
	1	,468	9,144	15,860	,960	-18,931	19,868	
	2	-1,119	9,185	16,138	,905	-20,576	18,338	
3	0	1	9,611	13,070	8,168	,483	-20,420	39,642
		2	6,486	13,070	8,168	,633	-23,545	36,517
		3	4,090	13,070	8,168	,762	-25,941	34,121
	1	0	-9,611	13,070	8,168	,483	-39,642	20,420
		2	-3,125	12,993	7,983	,816	-33,099	26,849
		3	-5,521	12,993	7,983	,682	-35,494	24,453
	2	0	-6,486	13,070	8,168	,633	-36,517	23,545
		1	3,125	12,993	7,983	,816	-26,849	33,099
		3	-2,396	12,993	7,983	,858	-32,369	27,578
3	0	-4,090	13,070	8,168	,762	-34,121	25,941	
	1	5,521	12,993	7,983	,682	-24,453	35,494	
	2	2,396	12,993	7,983	,858	-27,578	32,369	

Die paarweisen Vergleiche zeigen, dass in der jüngsten Altersklasse die drei Behandlungsvarianten Kontrolle („0“), mäßige („2“) und intensive positive („3“) Förderung gegenüber der Negativauslese („1“) einen Wuchsvorsprung aufweisen. Das Ergebnis in der zweiten Altersklasse, den ehemaligen Stangenhölzern, ist lediglich in einem Direktvergleich der mäßig positiven Förderung und der Kontrollvariante statistisch signifikant und daher nicht allgemein gültig. Die Signifikanzschwelle wird dabei auch nur knapp unterschritten. Hier zeigt sich, dass moderat positiv geförderte Traubeneichen gegenüber denjenigen in Kontrollvarianten einen Wuchsvorsprung aufweisen. Dieser ist allerdings absolut gering gegenüber den intensiv geförderten Traubeneichen. Dieses Ergebnis zeigt, dass sich die Pflege im Jahr 1998 in den mäßig positiv geförderten Parzellen der damaligen Stangenhölzer an die ursprüngliche Versuchsentention anlehnte, sie aber nicht grundsätzlich konsequent und konsistent über alle Versuchsplots erfolgte.

#### **4.3.2.2 Virtuelle Bäume - simulierte Brusthöhendurchmesser**

##### **Wuchssimulation „average growth“**

Für die Simulationen der Brusthöhendurchmesser wurde in einem ersten Schritt das Kollektiv der Probestämme mit arithmetisch gemittelten Jahrringbreiten der simulierten Traubeneichen fortgeschrieben. Somit ergibt sich ein durchschnittlicher Zuwachs für die Traubeneichen-Z-Stämme. Tabelle 4.7 zeigt die Ergebnisse des Brusthöhendurchmessers dieser virtuellen Bäume, die vom Jahr 1998 bis zum Jahr 2012 fortgeschrieben wurden.

Tab. 4.7: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima des Brusthöhendurchmessers der Eichen-Z-Stämme für das Jahr 2012 im Simulationsgeschehen „average growth“ [mm] – Werte für die Behandlung Mäßige positive Förderung und starke positive Förderung simuliert

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	210,0	23,74	250,0	162,5	12
	Negativauslese	184,6	20,05	215,0	157,5	12
	mäßige positive Förderung	213,6	15,67	235,5	192,5	12
	starke positive Förderung	212,4	11,77	242,2	199,2	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	246,9	25,94	297,5	205,0	12
	Negativauslese	240,2	23,32	275,0	207,5	12
	mäßige positive Förderung	260,8	12,52	281,5	245,5	12
	starke positive Förderung	255,9	16,24	279,6	229,6	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	278,6	25,44	325,0	227,5	20
	Negativauslese	273,2	32,30	320,0	227,5	20
	mäßige positive Förderung	305,9	17,08	339,8	280,8	20
	starke positive Förderung	294,4	24,84	340,9	261,9	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	189,4	28,31	247,5	147,5	12
	Negativauslese	181,5	12,94	205,0	160,0	12
	mäßige positive Förderung	217,3	6,35	226,9	208,9	12
	starke positive Förderung	211,9	7,69	230,7	202,7	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	207,5	20,20	245,0	182,5	12
	Negativauslese	252,0	29,76	322,5	212,5	12
	mäßige positive Förderung	243,5	9,12	256,6	226,6	12
	starke positive Förderung	272,5	19,74	319,8	247,8	12

Der Vergleich mit den real gemessenen Brusthöhendurchmessern (vgl. Tabelle 4.10) zeigt eine deutliche Wuchsverbesserung für die positiv geförderten Pflegeregimes „mäßige“ und „starke positive Förderung“ („2“ & „3“). Für die Kontrollen („0“) und Negativauslese („1“) wurden die Realwerte übernommen, da diese beiden Pflegeregimes in der Vergangenheit konsistent gepflegt wurden. Die Analyse der virtuellen Brusthöhendurchmesser der Traubeneichen-Z-Stämme hinsichtlich des Einflusses der waldbaulichen Behandlung mittels eines LMM ergibt die in Tabelle 4.8 dargestellten statistischen Kennwerte:

Tab. 4.8: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die virtuellen Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme im Simulationsgang „average growth“

Altersklasse	df	F-Wert	Signifikanz p
ehemalige Dichtung	3	15,371	<b>0,001*</b>
ehemaliges Stangenholz	3	3,373	0,075
ehemaliges Baumholz	3	7,207	<b>0,000**</b>

Dabei zeigen die jüngsten und der älteste Bestand statistisch signifikante Ergebnisse bezüglich des Einflusses der waldbaulichen Behandlung auf den Brusthöhendurchmesser. Wobei der Einfluss beim ältesten Bestand („Stinkgräben“) sogar hochsignifikant ist. Zur Interpretation dieser Ergebnisse wurden paarweise Vergleiche geschätzt, die in Tabelle 4.9 dargestellt sind. Hierdurch können die einzelnen waldbaulichen Behandlungsregime miteinander verglichen werden.

Tab. 4.9: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf den virtuellen Brusthöhendurchmesser im Simulationengang „average growth“

Altersklasse	(I) Waldbauliche Behandlung	(J) Waldbauliche Behandlung	Mittelwertdifferenz (I-J)	Standardfehler	Freiheitsgrade	Signifikanz	95 % Konfidenzintervall für Differenz	
							Untergrenze	Obergrenze
1	0	1	16,667*	5,299	8	,014*	4,446	28,887
		2	-15,763*	5,299	8	,018*	-27,983	-3,542
		3	-12,429*	5,299	8	,047*	-24,650	-,209
	1	0	-16,667*	5,299	8	,014*	-28,887	-4,446
		2	-32,429*	5,299	8	,000**	-44,650	-20,209
		3	-29,096*	5,299	8	,001*	-41,316	-16,875
	2	0	15,763*	5,299	8	,018*	3,542	27,983
		1	32,429*	5,299	8	,000**	20,209	44,650
		3	3,333	5,299	8	,547	-8,887	15,554
	3	0	12,429*	5,299	8	,047*	,209	24,650
		1	29,096*	5,299	8	,001*	16,875	41,316
		2	-3,333	5,299	8	,547	-15,554	8,887
2	0	1	-18,938	11,902	8	,150	-46,383	8,508
		2	-24,987	11,902	8	,069	-52,433	2,458
		3	-37,054*	11,902	8	,014*	-64,499	-9,609
	1	0	18,938	11,902	8	,150	-8,508	46,383
		2	-6,050	11,902	8	,625	-33,495	21,395
		3	-18,117	11,902	8	,166	-45,562	9,329
	2	0	24,987	11,902	8	,069	-2,458	52,433
		1	6,050	11,902	8	,625	-21,395	33,495
		3	-12,067	11,902	8	,340	-39,512	15,379
	3	0	37,054*	11,902	8	,014	9,609	64,499
		1	18,117	11,902	8	,166	-9,329	45,562
		2	12,067	11,902	8	,340	-15,379	39,512
3	0	1	5,375	7,857	80,000	,496	-10,262	21,012
		2	-27,275*	7,857	80,000	,001*	-42,912	-11,638
		3	-15,825*	7,857	80,000	,047*	-31,462	-,188
	1	0	-5,375	7,857	80,000	,496	-21,012	10,262
		2	-32,650*	7,857	80,000	,000**	-48,287	-17,013
		3	-21,200*	7,857	80,000	,009*	-36,837	-5,563
	2	0	27,275*	7,857	80,000	,001*	11,638	42,912
		1	32,650*	7,857	80,000	,000**	17,013	48,287
		3	11,450	7,857	80,000	,149	-4,187	27,087
	3	0	15,825*	7,857	80,000	,047*	,188	31,462
		1	21,200*	7,857	80,000	,009*	5,563	36,837
		2	-11,450	7,857	80,000	,149	-27,087	4,187

Der paarweise Vergleich der vier verschiedenen Durchforstungsregimes ergibt über alle Altersklassen hinweg ein einheitliches und damit als systematisch wirkend zu bezeichnendes Ergebnis. Die positiven Pflegeeingriffe „mäßige“ und „starke positive Förderung“ (Varianten „2“ & „3“) unterscheiden sich nicht signifikant. Dies bedeutet, dass auf Basis der hier erläuterten Simulation durch ein intensiveres Pflegen keine statistisch signifikanten Zugewinne im Brusthöhendurchmesserwachstum generiert werden konnten. Zu den beiden Vergleichskollektiven Kontrolle („0“) und Negativauslese („1“) ergeben sich allerdings signifikante Unterschiede. Bei diesen Kollektiven verzeichnen die jüngste und älteste Altersklasse konsequent signifikant geringere Brusthöhendurchmesser. Somit stellen sich positive Förderungen als wachstumsanregend dar. Dies wird zwar auch in einem Einzelfall für die ehemaligen Stangenhölzer so ausgewiesen, doch ist in dieser Altersklasse ein systematischer Effekt in diesem Simulationsszenario nicht nachweisbar. Im Vergleich zu den Ergebnissen für die realen Brusthöhendurchmesser (s.o.) kann die Annahme unterstrichen werden, dass die inkonsistente Pflege im Jahr 1998 die real auf den Versuchsflächen anzufindenden Verhältnisse verschleiert hat. Bei einer der Versuchsidee entsprechenden Pflege ließen sich zum jetzigen Zeitpunkt real merkbare Wuchsvorsprünge der positiv geförderten Traubeneichen nachweisen.

#### **Wuchssimulation „best growth“**

Zur Abschätzung des Wachstumspotentials auf den Versuchsflächen, wurden Simulationen durchgeführt, die nicht auf arithmetisch gemittelten Zuwächsen seit dem Jahr 1998 beruhten, sondern die maximalen Jahrringbreiten heranzogen, um die stärksten Eichen vor Umsetzung der Pflege im Jahr 1998 im Wachstum fortzuschreiben. Das von realen Einzelbäumen geleistete, maximale Wachstum wurde hierbei auf alle virtuellen Bäume eines Bestandes übertragen um die Wachstumspotentiale eines Traubeneichenbestandes als theoretische Größe zu ermitteln. Die dabei errechneten Brusthöhendurchmesser sind als das theoretische Maximum dessen zu interpretieren, was ein Traubeneichenbestand unter den beschriebenen Wachstumsverhältnissen in der Einzelbaumdimension leisten kann. Analog zum „average growth“-Szenario wurden auch hier in den Behandlungen Kontrolle („0“) und Negativauslese („1“) die Realwerte beibehalten. Die nach den beschriebenen Prämissen errechneten Brusthöhendurchmesser sind in Tabelle 4.10 dargestellt. Da die simulierten BHD-Werte auf Einzelbäumen beruhen kann keine Standardabweichung ausgewiesen werden.

Tab. 4.10: Simulierte und reale Brusthöhendurchmesser der Eichen-Z-Stämme für das Jahr 2012 in der Simulationsvariante „best growth“ [mm]

Geologie	Bestand	Pflegeregime	BHD <sub>2012</sub> simuliert [mm]	BHD <sub>2012</sub> real [mm]	potentielle Zuwachsverluste bis 2012 [mm]
Buntsandstein	ehem. Dickung	Kontrolle	210,0	210,0	x
		Negativauslese	184,6	184,6	x
		mäßige positive Förderung	239,9	197,3	42,6
		starke positive Förderung	230,1	199,4	30,7
	ehem. Stangenholz	Kontrolle	246,9	246,9	x
		Negativauslese	240,2	240,2	x
		mäßige positive Förderung	277,1	241,9	35,2
		starke positive Förderung	278,2	252,5	25,7
	ehem. schwaches Baumholz	Kontrolle	278,6	278,6	x
		Negativauslese	273,3	273,3	x
		mäßige positive Förderung	339,2	278,9	60,4
		starke positive Förderung	311,4	278,3	33,2
Muschelkalk	ehem. Dickung	Kontrolle	189,4	189,4	x
		Negativauslese	181,5	181,5	x
		mäßige positive Förderung	247,2	206,7	40,5
		starke positive Förderung	245,9	215,8	30,1
	ehem. Stangenholz	Kontrolle	207,5	207,5	x
		Negativauslese	252,0	252,0	x
		mäßige positive Förderung	259,1	239,2	19,9
		starke positive Förderung	301,0	257,5	43,5

Durch Überprüfung der ausgewiesenen und durch Simulationen errechneten Brusthöhendurchmesser mittels LMMs konnte der Einfluss der waldbaulichen Behandlung ermittelt werden. Tabelle 4.11 weist die zentralen statistischen Kennwerte dieser Analysen aus.

Tab. 4.11: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die virtuellen Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme im Simulationsgang „best growth“

Altersklasse	df	F-Wert	Signifikanz p
ehemalige Dickung	3	37,451	<b>,000**</b>
ehemaliges Stangenholz	3	9,751	<b>,005*</b>
ehemaliges Baumholz	3	30,683	<b>,000**</b>

Im Gegensatz zu den Simulationen im „average growth“-Szenario werden nun in allen drei Altersstufen hinsichtlich der waldbaulichen Wirkung auf den (theoretisch) erreichten Brusthöhendurchmesser signifikante bzw. hochsignifikante Effekte festgestellt. Die Abgrenzung der vier waldbaulichen Pflegeregimes gegeneinander erfolgte durch paarweise Vergleiche wie in Tabelle 4.12 dargestellt.

Tab. 4.12: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf den virtuellen Brusthöhendurchmesser im Simulationsgang „best growth“

Altersklasse	(I) Waldbauliche Behandlung	(J) Waldbauliche Behandlung	Mittelwertdifferenz (I-J)	Standardfehler	Freiheitsgrade	Signifikanz	95 % Konfidenzintervall für Differenz	
							Untergrenze	Obergrenze
1	0	1	15,533 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,046*</b>	,317	30,750
		2	-42,416 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	-57,633	-27,200
		3	-38,319 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	-53,535	-23,103
	1	0	-15,533 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,046*</b>	-30,750	-,317
		2	-57,950 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	-73,166	-42,733
		3	-53,853 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	-69,069	-38,636
	2	0	42,416 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	27,200	57,633
		1	57,950 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	42,733	73,166
		3	4,097	6,599	8	,552	-11,119	19,313
3	0	38,319 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	23,103	53,535	
	1	53,853 <sup>†</sup>	6,599	8	<b>,000**</b>	38,636	69,069	
	2	-4,097	6,599	8	,552	-19,313	11,119	
2	0	1	-20,636	11,995	8	,124	-48,297	7,025
		2	-38,160 <sup>†</sup>	11,995	8	<b>,013*</b>	-65,821	-10,499
		3	-62,414 <sup>†</sup>	11,995	8	<b>,001*</b>	-90,075	-34,753
	1	0	20,636	11,995	8	,124	-7,025	48,297
		2	-17,524	11,995	8	,182	-45,185	10,137
		3	-41,778 <sup>†</sup>	11,995	8	<b>,008*</b>	-69,440	-14,117
	2	0	38,160 <sup>†</sup>	11,995	8	<b>,013*</b>	10,499	65,821
		1	17,524	11,995	8	,182	-10,137	45,185
		3	-24,254	11,995	8	,078	-51,915	3,407
3	0	62,414 <sup>†</sup>	11,995	8	<b>,001*</b>	34,753	90,075	
	1	41,778 <sup>†</sup>	11,995	8	<b>,008*</b>	14,117	69,440	
	2	24,254	11,995	8	,078	-3,407	51,915	
3	0	1	5,375	7,857	80,000	,496	-10,262	21,012
		2	-60,615 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	-76,252	-44,978
		3	-32,815 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	-48,452	-17,178
	1	0	-5,375	7,857	80,000	,496	-21,012	10,262
		2	-65,990 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	-81,627	-50,353
		3	-38,190 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	-53,827	-22,553
	2	0	60,615 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	44,978	76,252
		1	65,990 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	50,353	81,627
		3	27,800 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,001*</b>	12,163	43,437
3	0	32,815 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	17,178	48,452	
	1	38,190 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,000**</b>	22,553	53,827	
	2	-27,800 <sup>†</sup>	7,857	80,000	<b>,001*</b>	-43,437	-12,163	



Die ausgewiesenen paarweisen Vergleiche ergeben zusammengefasst ein einheitliches Bild. Es zeigt sich, dass analog zu den Simulationen im „average growth“-Szenario die beiden Pflegeregimes „0“ und „1“ (Kontrollen und Negativauslesen) im Durchmesserwachstum zurückbleiben und sich nicht oder nur mäßig unterscheiden. Die Kontrollen sind hierbei noch wuchskräftiger als die Negativauslesen (jüngste Altersklasse). Die positiven Förderungen setzten sich von diesen beiden statistisch signifikant ab, die Traubeneichen-Z-Stämme sind (theoretisch berechnet) stärker dimensioniert. Dieses Ergebnis präzisiert die Erkenntnisse aus dem „average growth“-Szenario. Außer im ältesten Bestand „Stinkgräben“ sind keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen mäßiger und starker positiver Förderung zu erkennen. Diese Ergebnisse lassen folgende Schlüsse zu: Werden junge Eichenbestände in Behandlung genommen, sind Maßnahmen der starken positiven Förderung nicht notwendig um positive Effekte im Wachstumsgang zu bewirken. Hierfür sind moderate positive Förderungen ausreichend. Erfolgt die Förderung erst im Baumholzalter, sind moderate Hiebe sogar wuchsfördernder als starke lichtwuchsartige Durchforstungen. Dieses Ergebnis weist auch darauf hin, dass in jungen Traubeneichenbeständen kein übermäßiger finanzieller Aufwand für Pflegeeingriffe erforderlich ist, um den Brusthöhendurchmesserzuwachs anzuregen.

#### **4.3.2.3 Höhen**

Für die Höhenkurven der Baumarten wurden alle im Zuge der Vollaufnahmen gesammelten Daten vereinigt und ausgewertet. Unterschiede zwischen den Standorten waren in korrespondierenden Altern nicht festzustellen, so dass über die Standorte hinweg mit baumartenreinen vermengten Datensätzen operiert wurde. Die Höhenkurven wurden für alle Volumensberechnungen der vorliegenden Studie verwendet. Die Modelle wurden im Zuge linearer Regressionen bzw. LMMs geschätzt. Tabelle 4.13 gibt Auskunft über die in den Versuchsplots erhobenen Höhen der Traubeneichen-Z-Stämme.

Tab. 4.13: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Höhen [cm] der Traubeneichen-Z-Stämme im Jahr 2012

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	1.954	175,59	2.300	1.620	12
	Negativauslese	1.657	130,35	1.900	1.400	12
	mäßige positive Förderung	1.791	146,68	2.060	1.470	12
	starke positive Förderung	1.845	122,95	2.070	1.660	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	2.150	108,13	2.370	1.910	12
	Negativauslese	2.119	129,20	2.400	1.900	12
	mäßige positive Förderung	2.136	113,14	2.330	1.910	12
	starke positive Förderung	2.039	88,02	2.160	1.860	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	2.441	265,61	3.120	2.130	20
	Negativauslese	2.312	175,77	2.630	1.990	20
	mäßige positive Förderung	2.357	157,55	2.620	2.070	20
	starke positive Förderung	2.320	170,74	2.710	2.090	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	1.809	114,34	2.020	1.550	12
	Negativauslese	1.690	82,93	1.860	1.520	12
	mäßige positive Förderung	1.810	91,33	1.960	1.640	12
	starke positive Förderung	1.722	116,16	1.950	1.470	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	2.153	174,70	2.440	1.790	12
	Negativauslese	2.168	122,83	2.410	1.970	12
	mäßige positive Förderung	2.064	138,94	2.300	1.790	12
	starke positive Förderung	2.095	125,25	2.270	1.820	12

### Höhenkurve Eiche

Für die Baumart Eiche hielten 1086 Datensätze aus BHD und Höhe Einzug in das Modell. Um eine Normalverteilung der Residuen zu erreichen, wurden die Variablen transformiert. Der BHD als erklärende Variable wurde als  $1/\text{LN}(\text{BHD})$  berechnet, die Höhe als abhängige Variable natürlich logarithmiert. Die Korrelation der beiden Variablen lag bei  $-0,884$  und damit absolut unter  $0,9$  und somit annehmbar (Field 2009). Die Höhengleichung wurde nach folgender Form geschätzt:

$$\text{LN}(\text{Höhe [cm]}) = 9,837 - 11,893 * (1/\text{LN}(\text{BHD [mm]}))$$

Die statistischen Kennwerte des geschätzten Modells sind in Tabelle 4.14 dargestellt.

Tab. 4.14: Statistische Modellparameter der Höhenregression für Eiche

R <sup>2</sup>	0,78
F-Wert der Anova (empirisch)	3880,67
Signifikanz von F	p < .000
β der Anova	-0,884
Signifikanz von β	p < .000
Konditionsindex	24,13

Die statistische Überprüfung hinsichtlich der Normalverteilung der Residuen ergab mit einem nicht signifikanten Kolmogorov-Smirnov-Test (SPSS) von  $p > ,05$  eindeutige Normalverteilung und damit keine Heteroskedastizität der Residuen. Das P-P-Plot in Abbildung 4.4 zeigt die Verteilung der Residuen.

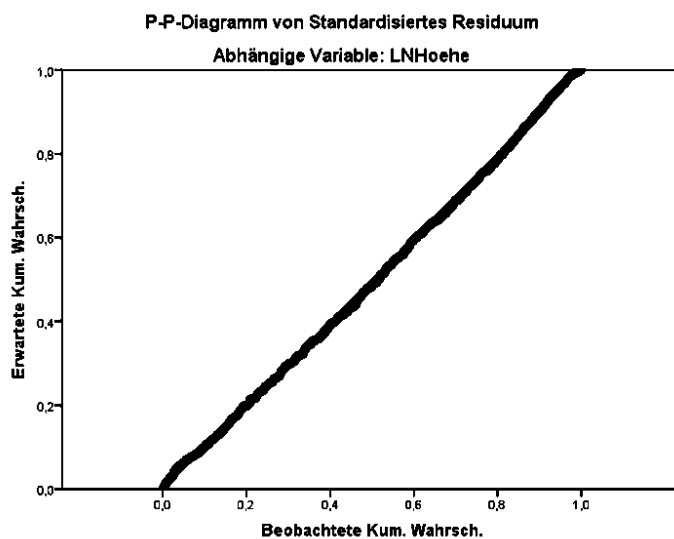


Abb. 4.4: P-P-Plot der Regression BHD zu Höhe für die Baumart Eiche

### Höhenkurve Buche

440 Datensätze fanden Eingang in das geschätzte Modell zur Beziehung von BHD und Baumhöhe. Zur Sicherung der Normalverteilung der Residuen wurde die unabhängige Variable BHD mittels der Quadratwurzelfunktion transformiert. Die Korrelation beider Variablen lag bei 0,94 und damit bereits hoch (Field 2009). Die Höhengleichung für die Buchen wurde nach folgender Form geschätzt:

$$\text{Höhe [cm]} = -151,55 + 147,881 \cdot (\text{BHD[mm]})^{1/2}$$

Die statistischen Kennwerte mit den Modellparametern für das geschätzte Modell zur Beziehung BHD und Höhe für die Baumart Buche sind in Tabelle 4.15 dargestellt.

Tab. 4.15: Statistische Modellparameter der Höhenregression für Buche

R <sup>2</sup>	0,885
F-Wert der Anova (empirisch)	3355,06
Signifikanz von F	p < .000
β der Anova	0,94
Signifikanz von β	p < .000
Konditionsindex	5,38

Die statistische Überprüfung hinsichtlich der Normalverteilung der Residuen ergab mit einem nicht signifikanten Kolmogorov-Smirnov-Test (SPSS) von p > .05 eindeutige Normalverteilung und damit keine Heteroskedastizität der Residuen. Das P-P-Plot in Abbildung 4.5 zeigt die Verteilung der Residuen.

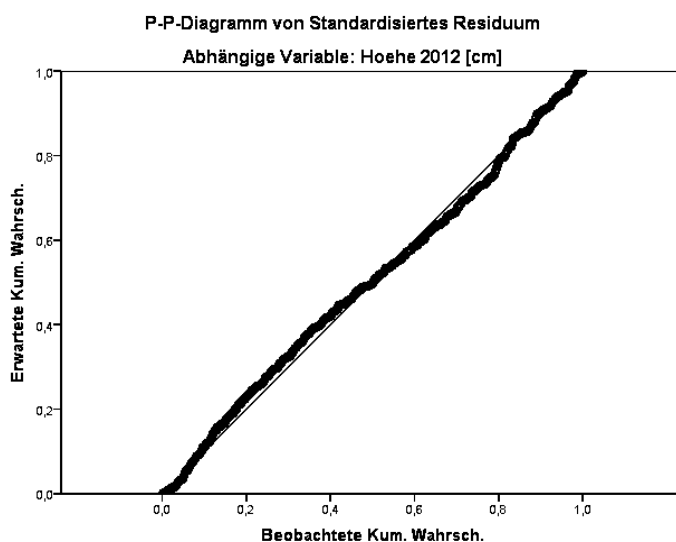


Abb. 4.5: P-P-Plot der Regression BHD zu Höhe für die Baumart Buche

### **Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Höhen der Eichen-Z-Stämme**

Zur Untersuchung, ob ein Zusammenhang zwischen waldbaulicher Behandlung und der Höhenentwicklung der Eichen besteht, wurde ein gemischtes Model (LMM) geschätzt. Hierbei wurde der Gesamtdatensatz nach den drei Altersstufen ehemalige Dichtung, ehemaliges Stangenholz sowie Baumholz gesplittet. Die erklärende Variable war allein die waldbauliche Behandlung, Clustervariable der Plot. Es wurden die besten -2log-Likelihood Modelle nach absolutem Kriteriumswert gewählt. Für die Beziehung zwischen erreichter Baumhöhe und waldbaulicher Behandlung konnten keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden. In jeder der drei Altersstufen lag  $p > ,05$  für den Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die erreichte Höhe. Tabelle 4.16 zeigt die Ergebnisse nach den drei Altersklassen im Traubeneichenpflegeversuch einzeln aufgelistet.

Tab. 4.16: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Höhe der Z-Stämme

<b>Altersklasse</b>	<b>df</b>	<b>F-Wert</b>	<b>Signifikanz p</b>
ehemalige Dichtung	3	2,150	,392
ehemaliges Stangenholz	3	,847	,495
ehemaliges Baumholz	3	,253	,856

Den grundsätzlichen Bonitierungsgrundsätzen der forstlichen Ertragskunde folgend zeigen die Ergebnisse keinen Zusammenhang von waldbaulicher Behandlung und erreichter Höhe der Z-Stämme.

#### **4.3.2.4 Kronenschirmflächen der Eichen-Z-Stämme**

Die Kronenschirmflächen der Eichen-Z-Stämme (CC – vgl. Kapitel 6.2.2) wurden durch Ablotungen nach den acht Haupthimmelsrichtungen ermittelt und in der Folge errechnet. Tabelle 4.17 zeigt deskriptiv die Größe der Kronenschirmflächen in den einzelnen Behandlungen der Altersstufen und Standorte.

Tab. 4.17: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Kronenschirmflächen [m<sup>2</sup>] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	17,1	6,23	28,1	5,7	12
	Negativauslese	13,8	4,07	23,2	5,2	12
	mäßige positive Förderung	17,0	6,82	36,7	6,5	12
	starke positive Förderung	15,6	5,23	29,1	8,3	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	17,7	5,97	31,6	8,5	12
	Negativauslese	22,5	8,64	42,5	9,3	12
	mäßige positive Förderung	28,8	8,03	48,0	14,8	12
	starke positive Förderung	24,5	8,09	43,2	10,6	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	34,3	11,46	64,3	15,4	20
	Negativauslese	33,2	12,78	54,2	13,9	20
	mäßige positive Förderung	26,1	14,79	80,9	8,0	20
	starke positive Förderung	29,2	11,08	59,0	12,4	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	17,9	5,81	27,9	8,7	12
	Negativauslese	14,8	4,73	25,7	6,2	12
	mäßige positive Förderung	18,1	6,84	31,3	5,9	12
	starke positive Förderung	22,4	7,94	40,6	11,6	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	23,6	8,92	47,6	12,4	12
	Negativauslese	30,3	9,84	52,4	16,9	12
	mäßige positive Förderung	24,6	8,86	42,1	11,0	12
	starke positive Förderung	30,9	12,47	67,1	12,9	12

Der Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den Kronenausbau, der durch die Kronenschirmfläche abgebildet wird, wurde durch LMMs geschätzt. Zur Erreichung normalverteilter Residuen wurde die abhängige Variable Kronenschirmfläche natürlich logarithmiert. Der Datensatz für die drei Altersstufen ehemalige Dichtung, ehemaliges Stangenholz sowie Baumholz wurde nach den Altersstufen aufgeteilt und jeweils separat analysiert. Hierbei wurden signifikante Effekte der waldbaulichen Behandlung identifiziert. Tabelle 4.18 zeigt die Effekte nach Altersklasse:

Tab. 4.18: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Kronenschirmfläche der Z-Stämme

<b>Altersklasse</b>	<b>df</b>	<b>F-Wert</b>	<b>Signifikanz</b>
ehemalige Dichtung	3	1,298	,309
ehemaliges Stangenholz	3	4,152	<b>,023*</b>
ehemaliges Baumholz	3	3,314	<b>,023*</b>

Die Ergebnisse zeigen, dass in den jüngsten Altersklassen kein Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den Kronenausbau nachgewiesen werden konnte. In den beiden älteren Klassen (ehemaliges Stangenholz und Baumholz) hingegen sind signifikante Effekte erkennbar. Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen werden in Tabelle 4.19 gezeigt.

Tab. 4.19: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf die Kronenschirmfläche [ln m<sup>2</sup>]

Alters klasse	(I) Waldbauliche Behandlung	(J) Waldbauliche Behandlung	Differenz der Mittelwerte (I-J)	Standard- fehler	Freiheits- grade	Signi- fikanz	95% Konfidenzintervall für Differenz	
							Unter- grenze	Ober- grenze
1	Kontrolle	Negativauslese	,168	,133	15,710	,225	-,115	,452
		mäßige positive Förderung	-,009	,134	16,076	,945	-,294	,275
		starke positive Förderung	-,087	,134	16,070	,528	-,371	,198
	Negativauslese	Kontrolle	-,168	,133	15,710	,225	-,452	,115
		mäßige positive Förderung	-,178	,134	15,810	,202	-,461	,106
		starke positive Förderung	-,255	,134	15,804	,075	-,538	,029
	mäßige positive Förderung	Kontrolle	,009	,134	16,076	,945	-,275	,294
		Negativauslese	,178	,134	15,810	,202	-,106	,461
		starke positive Förderung	-,077	,134	16,171	,574	-,362	,208
	starke positive Förderung	Kontrolle	,087	,134	16,070	,528	-,198	,371
		Negativauslese	,255	,134	15,804	,075	-,029	,538
		mäßige positive Förderung	,077	,134	16,171	,574	-,208	,362
2	Kontrolle	Negativauslese	-,249	,096	16,122	<b>,019*</b>	-,451	-,046
		mäßige positive Förderung	-,278	,097	16,847	<b>,011*</b>	-,482	-,074
		starke positive Förderung	-,297*	,096	16,699	<b>,007*</b>	-,500	-,093
	Negativauslese	Kontrolle	,249	,096	16,122	<b>,019*</b>	,046	,451
		mäßige positive Förderung	-,029	,096	16,534	,765	-,233	,174
		starke positive Förderung	-,048	,096	16,386	,626	-,251	,155
	mäßige positive Förderung	Kontrolle	,278	,097	16,847	<b>,011*</b>	,074	,482
		Negativauslese	,029	,096	16,534	,765	-,174	,233
		starke positive Förderung	-,018	,097	17,116	,851	-,223	,186
	starke positive Förderung	Kontrolle	,297	,096	16,699	<b>,007*</b>	,093	,500
		Negativauslese	,048	,096	16,386	,626	-,155	,251
		mäßige positive Förderung	,018	,097	17,116	,851	-,186	,223
3	Kontrolle	Negativauslese	,061	,117	96,000	,603	-,171	,293
		mäßige positive Förderung	,341	,117	96,000	<b>,004*</b>	,109	,573
		starke positive Förderung	,180	,117	96,000	,127	-,052	,412
	Negativauslese	Kontrolle	-,061	,117	96,000	,603	-,293	,171
		mäßige positive Förderung	,280	,117	96,000	<b>,018*</b>	,049	,512
		starke positive Förderung	,119	,117	96,000	,312	-,113	,351
	mäßige positive Förderung	Kontrolle	-,341	,117	96,000	<b>,004*</b>	-,573	-,109
		Negativauslese	-,280	,117	96,000	,018*	-,512	-,049
		starke positive Förderung	-,162	,117	96,000	,170	-,394	,070
	starke positive Förderung	Kontrolle	-,180	,117	96,000	,127	-,412	,052
		Negativauslese	-,119	,117	96,000	,312	-,351	,113
		mäßige positive Förderung	,162	,117	96,000	,170	-,070	,394



In der Altersklasse 2 (ehemaliges Stangenholz) zeigt sich, dass die Traubeneichen in der Kontrollvariante signifikant unterdurchschnittlich entwickelte Kronen aufweisen. Ausgebliebene Maßnahmen der Konkurrenzsteuerung äußern sich hier in eingeklemmten und damit kleinen Kronenschirmflächen. Dieses Bild ist im ältesten Versuchsbestand (Altersklasse 3, ehemaliges Baumholz) so allerdings nicht zu verzeichnen, obwohl auch hier signifikante Effekte festgestellt wurden. Hier sind die mäßig positiv geförderten Kronenschirmflächen (Pflegeregime „2“) am kleinsten und diejenigen in den ungepflegten Parzellen (Pflegeregime „0“) am größten. Diese uneinheitlichen Effekte müssen im Zusammenhang mit der Pflege im Jahr 1998 gesehen werden, bei der vitale Bäume mit großen Kronen entnommen wurden. Es ist abzuleiten, dass die inkonsequente Pflege von 1998 nicht in der Lage war, die damals positiv geförderten Bäume dauerhaft in der Kronenentwicklung zurückzuwerfen, obgleich vorwüchsige Individuen entnommen wurden. Effekte in der jüngsten Altersklasse sind nicht zu entdecken. Es ist anzunehmen, dass bei konsequenter Pflege die Kronenschirmfläche der intensiv geförderten Bäume (Pflegeregime „3“) signifikant größer gewesen wäre. Die deskriptiv dargestellten Ergebnisse geben darauf auch einen Hinweis, statistisch signifikant ist dieser jedoch nicht.

#### **4.3.2.5 Kronenansatzhöhe**

Die Kronenansatzhöhe ist eine wesentliche Kenngröße zur Qualitätsbeurteilung von Eichenblochen, da unterhalb der Kronenansatzhöhe keine lebenden Äste den Faserverlauf der Stammachse beeinflussen. Sie ist definiert als der Punkt in der Baumachse, an dem der erste Primärast der Stammachse entspringt. Nur unterhalb der Kronenansatzhöhe kann potentiell Wertholz erzeugt werden. Voraussetzung hierfür ist eine gründliche Reinigung von Totästen (vgl. Kapitel 4.4.3). Tabelle 4.20 zeigt die erreichten Kronenansatzhöhen der Eichen-Z-Stämme im Traubeneichenpflegeversuch.

Tab. 4.20: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Kronenansatzhöhen [cm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	753	244,08	1.090	260	12
	Negativauslese	941	86,40	1.200	770	12
	mäßige positive Förderung	951	103,22	1.140	700	12
	starke positive Förderung	884	135,10	1.160	640	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	1.096	244,63	1.450	530	12
	Negativauslese	1.055	190,62	1.440	680	12
	mäßige positive Förderung	1.038	215,28	1.510	610	12
	starke positive Förderung	1.021	205,71	1.500	580	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	1.427	212,55	1.780	890	20
	Negativauslese	1.408	217,68	1.890	920	20
	mäßige positive Förderung	1.291	217,49	1.590	620	20
	starke positive Förderung	1.293	230,12	1.670	540	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	995	179,59	1.240	620	12
	Negativauslese	891	168,55	1.180	400	12
	mäßige positive Förderung	1.018	124,69	1.220	780	12
	starke positive Förderung	902	117,48	1.120	700	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	1.287	170,82	1.560	950	12
	Negativauslese	1.261	190,06	1.600	890	12
	mäßige positive Förderung	1.085	195,43	1.390	680	12
	starke positive Förderung	1.092	191,28	1.360	705	12

Für die drei Altersstufen ehemalige Dichtung, ehemaliges Stangenholz sowie Baumholz wurden LMMs geschätzt, um den Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die erreichte astfreie Schaftlänge zu eruieren. Tabelle 4.21 weist die Parameter der geschätzten LMMs aus.

Tab. 4.21: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Kronenansatzhöhe der Z-Stämme

Altersklasse	df	F-Wert	Signifikanz p
ehemalige Dichtung	3	2,838	0,105
ehemaliges Stangenholz	3	3,598	0,065
ehemaliges Baumholz	3	1,564	0,329

Die Analyse mittels der LMMs zeigt, dass die waldbauliche Behandlung keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Kronenansatzhöhe der Eichen-Z-Stämme hatte. Demzufolge ist bei intensiver Z-Baum-Förderungen in Eichenbeständen mit Buchennebenbestand nicht mit einer Qualitätsverschlechterung im Vergleich zu einer klassischen Negativauslese zu rechnen. In den beiden ehemaligen Stangenhölzern nähert sich der p-Wert mit ,065 der Signifikanzgrenze an. Hier ist deskriptiv ein Effekt zu vermuten, dieser ist jedoch statistisch nicht nachweisbar. Eine Beeinflussung des Astreinigungsprozesses durch unterschiedliche waldbauliche Behandlung kann für den Traubeneichenpflegeversuch generell nicht festgestellt werden.

#### 4.3.2.6 Astfreie Schaftlängen

Als astfreie Schaftlänge wurde die Länge der Stammachse ab dem Erdboden definiert, die frei von Tot- und Grünästen war. In Tabelle 4.22 werden die deskriptiv ermittelten astfreien Schaftlängen der Traubeneichen-Z-Stämme nach Alter, Standort und Behandlung ausgewiesen.

Tab. 4.22: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der astfreien Schaftlänge [cm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	474	168,43	790	190	12
	Negativauslese	558	168,34	970	210	12
	mäßige positive Förderung	547	144,32	800	270	12
	starke positive Förderung	533	156,47	910	180	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	828	162,87	1.170	530	12
	Negativauslese	785	144,78	1.050	510	12
	mäßige positive Förderung	726	155,13	1.050	320	12
	starke positive Förderung	699	126,85	920	310	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	997	241,62	1.330	340	20
	Negativauslese	1.047	187,39	1.410	700	20
	mäßige positive Förderung	1.027	294,46	1.420	240	20
	starke positive Förderung	1.010	233,42	1.400	540	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	608	223,19	1.010	140	12
	Negativauslese	621	192,50	1.090	140	12
	mäßige positive Förderung	626	129,77	840	310	12
	starke positive Förderung	574	139,35	850	270	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	879	165,52	1.230	490	12
	Negativauslese	868	251,96	1.270	290	12
	mäßige positive Förderung	772	191,81	990	270	12
	starke positive Förderung	824	130,72	1.040	618	12

Mittels eines LMM wurde der Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die erzielten astfreien Schaftlängen untersucht. Tabelle 4.23 weist die statistischen Ergebnisse für den nach den drei Altersklassen auf gesplitteten Datensatz aus.

Tab. 4.23: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die astfreie Schaftlänge der Z-Stämme

Altersklasse	df	F-Wert	Signifikanz p
ehemalige Dichtung	3	1,103	,349
ehemaliges Stangenholz	3	4,379	<b>,005*</b>
ehemaliges Baumholz	3	,174	,908

Die waldbauliche Behandlung zeigte lediglich in der zweiten Altersklasse, also in den mittelalten Beständen, eine signifikante Wirkung auf die erreichte astfreie Schaftlänge der Traubeneichen. Paarweise Vergleiche (vgl. Tabelle 4.24) zeigten, dass hierbei insbesondere zwischen den beiden extremsten Varianten des Traubeneichenpflegeversuchs signifikante Unterschiede erkennbar sind. In der zweiten Altersklasse, dem ehemaligen Stangenholz, führten unterlassene Pflegeeingriffe in den Kontrollparzellen zu einer Verlängerung der astfreien Schaftlänge. Im Gegensatz dazu sind die astfreien Schaftlängen in den intensiv sowie moderat geförderten Varianten signifikant verkürzt. Allerdings bewegen sich diese immer noch auf einem Niveau, das eine Wertholzerzeugung ermöglicht.

Tab. 4.24: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf die astfreie Schaftlänge [cm]

## Paarweise Vergleiche

Altersklasse	(I) Waldbauliche Behandlung	(J) Waldbauliche Behandlung	Differenz der Mittelwerte (I-J)	Standardfehler	Freiheitsgrade	Signifikanz	95% Konfidenzintervall für Differenz	
							Untergrenze	Obergrenze
1	Kontrolle	Negativauslese	-48,610	32,062	204,000	,786	-134,032	36,811
		mäßige positive Förderung	-45,446	32,955	204,000	1,000	-133,246	42,354
		starke positive Förderung	-12,507	32,955	204	1,000	-100,308	75,293
	Negativauslese	Kontrolle	48,610	32,062	204,000	,786	-36,811	134,032
		mäßige positive Förderung	3,165	32,315	204	1,000	-82,929	89,258
		starke positive Förderung	36,103	32,315	204	1,000	-49,990	122,197
	mäßige positive Förderung	Kontrolle	45,446	32,955	204,000	1,000	-42,354	133,246
		Negativauslese	-3,165	32,315	204	1,000	-89,258	82,929
		starke positive Förderung	32,938	33,201	204	1,000	-55,516	121,393
	starke positive Förderung	Kontrolle	12,507	32,955	204	1,000	-75,293	100,308
		Negativauslese	-36,103	32,315	204	1,000	-122,197	49,990
		mäßige positive Förderung	-32,938	33,201	204	1,000	-121,393	55,516
2	Kontrolle	Negativauslese	26,907	33,409	197	1,000	-62,134	115,948
		mäßige positive Förderung	104,420 <sup>†</sup>	34,225	197	<b>,016*</b>	13,205	195,635
		starke positive Förderung	92,049 <sup>†</sup>	34,059	197	<b>,045*</b>	1,277	182,822
	Negativauslese	Kontrolle	-26,907	33,409	197	1,000	-115,948	62,134
		mäßige positive Förderung	77,513	33,878	197	,139	-12,779	167,804
		starke positive Förderung	65,142	33,711	197	,328	-24,702	154,987
	mäßige positive Förderung	Kontrolle	-104,420 <sup>†</sup>	34,225	197	<b>,016*</b>	-195,635	-13,205
		Negativauslese	-77,513	33,878	197	,139	-167,804	12,779
		starke positive Förderung	-12,370	34,519	197	1,000	-104,370	79,629
	starke positive Förderung	Kontrolle	-92,049 <sup>†</sup>	34,059	197	<b>,045*</b>	-182,822	-1,277
		Negativauslese	-65,142	33,711	197	,328	-154,987	24,702
		mäßige positive Förderung	12,370	34,519	197	1,000	-79,629	104,370

Tab. 4.24 (Fortsetzung): Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf die astfreie Schaftlänge [cm]

3	Kontrolle	Negativauslese	-50,417	106,009	3,969	1,000	-567,570	466,736
		mäßige positive Förderung	-67,135	106,434	4,032	1,000	-580,522	446,251
		starke positive Förderung	-12,917	106,009	3,969	1,000	-530,070	504,236
	Negativauslese	Kontrolle	50,417	106,009	3,969	1,000	-466,736	567,570
		mäßige positive Förderung	-16,719	106,434	4,032	1,000	-530,105	496,668
		starke positive Förderung	37,500	106,009	3,969	1,000	-479,653	554,653
	mäßige positive Förderung	Kontrolle	67,135	106,434	4,032	1,000	-446,251	580,522
		Negativauslese	16,719	106,434	4,032	1,000	-496,668	530,105
		starke positive Förderung	54,219	106,434	4,032	1,000	-459,168	567,605
	starke positive Förderung	Kontrolle	12,917	106,009	3,969	1,000	-504,236	530,070
		Negativauslese	-37,500	106,009	3,969	1,000	-554,653	479,653
		mäßige positive Förderung	-54,219	106,434	4,032	1,000	-567,605	459,168

#### 4.3.2.7 Totastzone

Die Totastzone beschreibt den Bereich des Stammabschnittes, der unterhalb der Kronenansatzhöhe liegt und nicht von toten Ästen gereinigt ist. In der Beurteilung der Stammgüte ist dies ein wesentlicher Parameter, der Einfluss auf die Wertermittlung von Eichenstämmen ausübt. Berechnet wurde dieser Kennwert für die Eichen-Z-Stämme als Differenz der beiden Messwerte

Kronenansatzhöhe [cm] – astfreie Schaftlänge [cm].

Die ermittelten Totastzonen sind für die jeweiligen Altersstufen nach waldbaulicher Behandlung in Tabelle 4.26 ausgewiesen.

Statistisch untersucht wurde mittels LMM, ob die waldbauliche Behandlung die Astreinigung beeinflusst und ob die qualitative Entwicklung der Eichenstämmen dadurch waldbaulich beeinflusst ist. Die Ergebnisse zur Kronenansatzhöhe zeigten, dass eine Verschlechterung der potentiell astfreien Schaftlänge durch intensive Förderung nicht zu erwarten ist. Ob die potentiell astfreie Achse auch wirklich astfrei ist, zeigen die Ergebnisse zur Totastzone. Analog zu vorausgegangen Ergebnissen wurde der Gesamtdatensatz nach den drei Altersstufen ehemalige Dickung, ehemaliges Stangenholz sowie Baumholz aufgeteilt. Die erklärende Variable war allein die waldbauliche Behandlung, Clustervariable der Plot. Es wurden die besten -2log-Likelihood Modelle nach absolutem Kriteriumswert gewählt. Für die Beziehung zwischen Länge der Totastzone und waldbaulicher Behandlung konnten keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden. In jeder der drei Altersstufen lag  $p > .05$  für den Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Totastzone. Demnach reinigen sich die Eichenblöcke nach dem Absterben der Äste unabhängig von der waldbaulichen Behandlung gleich gut. Tabelle 4.25 zeigt die Ergebnisse nach den drei Altersklassen im Traubeneichenpflegeversuch einzeln aufgelistet.

Tab. 4.25: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Länge der Totastzone der Z-Stämme

Altersklasse	df	F-Wert	Signifikanz p
ehemalige Dickung	3	1,502	0,215
ehemaliges Stangenholz	3	0,344	0,795
ehemaliges Baumholz	3	0,275	0,178



Tab. 4.26: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Totastzone [cm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012

<b>Bestand</b>	<b>waldbauliche Behandlung</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>N</b>
„Jockel“ ehemalige Dickung Buntsandstein	Kontrolle	278	223,21	740	-	12
	Negativauslese	382	152,20	720	70	12
	mäßige positive Förderung	404	173,46	710	-	12
	starke positive Förderung	350	199,96	890	20	12
„Hehler“ ehemaliges Stangenholz Buntsandstein	Kontrolle	268	217,12	640	-	12
	Negativauslese	269	231,65	710	-	12
	mäßige positive Förderung	312	246,16	870	-	12
	starke positive Förderung	321	217,73	710	-	12
„Stinkgräben“ ehemaliges Baumholz Buntsandstein	Kontrolle	430	227,39	880	-	20
	Negativauslese	361	194,23	720	-	20
	mäßige positive Förderung	263	268,44	1.300	-	20
	starke positive Förderung	283	201,94	690	-	20
„Rindshügel“ ehemalige Dickung Muschelkalk	Kontrolle	386	269,76	940	-	12
	Negativauslese	270	210,89	780	-	12
	mäßige positive Förderung	392	164,11	720	160	12
	starke positive Förderung	328	133,27	620	110	12
„Ochsenau“ ehemaliges Stangenholz Muschelkalk	Kontrolle	407	213,28	860	-	12
	Negativauslese	393	253,89	940	-	12
	mäßige positive Förderung	312	257,79	970	-	12
	starke positive Förderung	268	176,96	592	-	12

#### 4.3.2.8 Wasserreiserbesatz

Analysiert wurden der Einfluss von waldbaulicher Behandlung sowie des Standorts auf die Ausbildung von Wasserreisern an den Z-Stämmen.

##### Wasserreiserbesatz bis 5 Meter Höhe

349 Z-Stämme (= 68 %) des Traubeneichenpflegeversuchs zeigten eine sehr gute Eingruppierung bzgl. des Besatzes mit Wasserreisern mit Furnierstammerwartung, 164 Z-Stämme wurden schlechter eingruppiert. In einem ersten Schritt wurde der Wasserreiserbesatz der Z-Stämme bestandesweise analysiert. Dies erfolgte über Chi-Quadrat-Tests. Tabelle 4.27 zeigt die Testergebnisse und weist als strengen Maßstab auch den „Exakten Test nach Fischer“ aus.

Tab. 4.27: Ergebnisse der Prüfung nach einem Zusammenhang von waldbaulicher Behandlung und Wasserreiserbesatz auf den ersten 5 Metern der Z-Stämme

Bestand	$\chi^2$ -Wert (3)	p-Wert nach Pearson	p-Wert nach Fischer	Kramer-V
„Jockel“	3,32	p > 0.05 n.s. <sup>6</sup>	p > 0.05 n.s.	0,17
„Hehler“	7,13	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,26
„Stinkgräben“	1,67	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,13
„Rindshügel“	4,4	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,20
„Ochsenau“	4,97	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,22

Weder der Pearson's p-Wert noch die Teststatistik nach Fischer belegen in einem der fünf Versuchsbestände einen signifikanten Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den Wasserreiserbesatz. Im Versuchsbestand „Hehler“ lag der p-Wert nach Pearson bei 0,068 und damit am nächsten zur Signifikanzgrenze. Trotz dieser tendenziellen Näherung an die Signifikanzschwelle ist ein Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf den Besatz mit Wasserreisern nicht festzustellen. Was bedeutet, dass im Traubeneichenpflegeversuch der Wasserreiserbesatz an den Z-Stämmen auf der Erstlänge nicht durch die waldbauliche Behandlung gesteuert war.

Zur Identifikation des Standorteinflusses auf die Wasserreiserbildung wurde ein log-lineares Modell geschätzt, in das die Variablen Standort, Altersklasse, waldbauliche\_Behandlung sowie das Auftreten von Wasserreisern nach den beiden vergebenen Qualitätsklassen eingingen. Die 3-fach loglineare Analyse behielt nicht alle Variablen und Interaktionen, da die Interaktion auf höchster Ebene (K=3; Standort\* waldbauliche\_Behandlung\*Wasserreiserbesatz) nicht signifikant war ( $\chi^2$  (3) = 2,19, p > ,05). Das Modell wurde schrittweise reduziert, bis das einfachste signifikante Modell identifiziert war. Es enthielt eine zweifache Interaktion (K = 2; Standort\*Wasserreiserbesatz) mit  $\chi^2$  (1) = 48,85,

<sup>6</sup> n.s. = nicht signifikant

$p < ,000^{**}$ . Die errechnete odds-ratio zeigte, dass auf Muschelkalk die Z-Stämme des Traubeneichenversuchs eine 3,8-fach höhere Wahrscheinlichkeit aufwiesen, mehr als 5 Wasserreiser auf den ersten fünf Metern des Erdstammstückes auszubilden – also qualitativ schlechter waren. Dieser Befund gilt ganz allgemein für Traubeneichen auf Muschelkalk und ist unabhängig von der Altersstufe.

### **Wasserreiserbesatz von 5 bis 10 Meter Höhe**

Zu beobachten war, dass der Wasserreiserbesatz zwischen 5 und 10 Metern Höhe an den Traubeneichen auf Muschelkalk höher war als an den Traubeneichen auf Buntsandstein. Die waldbauliche Behandlung ist hierfür keine erklärende Variable, was mit einem log-linearen Modell bestätigt wurde ( $\chi^2 (3) = 0,57$ ;  $p > ,05$ ). Die Variablen Standort, Altersklasse und waldbauliche Behandlung sowie das Auftreten von Wasserreisern nach den beiden vergebenen Qualitätsklassen wurden in das Modell eingespeist. Drei Haupteffekte sowie zwei Interaktionen verblieben im log-linearen Modell.

Die Altersklasse erwies sich mit  $\chi^2 (2) = 54,71$ ;  $p < ,000^{**}$  als signifikant. Zwischen den beiden Standorten konnten mit  $\chi^2 (1) = 22,48$ ;  $p < ,000^{**}$  ebenfalls Unterschiede ermittelt werden. Der Wasserreiserbesatz an sich zeigte sich mit  $\chi^2 (1) = 130,4$ ;  $p < ,000^{**}$  ebenfalls als signifikante Variable. Zwei Interaktionen, zeigten sich als signifikant. Zum einen war dies die Interaktion Standort\*Altersklasse mit  $\chi^2 (2) = 100,25$ ;  $p < ,000^{**}$ , wonach sich auf den Standorten die Altersklassen unterschiedlich in der Ausprägung des Merkmals Wasserreiserbesatz auf der Zweitlänge des Z-Stammes zeigten. Dies liegt auch darin begründet, dass der Bestand „Stinkgräben“ in der Analyse behalten wurde und kein Pendant auf Muschelkalk verfügbar war. Die zweite Interaktion, die signifikant im Modell verblieb, war die Interaktion zwischen Standort\*Wasserreiserbildung. Sie zeigte folgende statistische Kennwerte:  $\chi^2 (1) = 32,99$ ;  $p < ,000^{**}$ . Dies bedeutet, dass auf Muschelkalk signifikant mehr Wasserreiser ausgebildet wurden als auf Buntsandstein.

In beiden signifikanten Interaktionstermen sowie als einzelne Variable wird der Einfluss des Standortes deutlich. Analog zu den Ergebnissen auf den ersten fünf Metern des Erdstammstückes ist für die Zweitlängen der Z-Stämme des Traubeneichenversuchs ein Wirkungseffekt der Geologie auf das Auftreten von Wasserreisern festzustellen. Traubeneichen, die auf Muschelkalk stocken, bilden mit höherer Wahrscheinlichkeit mehr als einen Wasserreiser pro Laufmeter aus als Traubeneichen auf Buntsandstein.

### Wasserreiserbesatz über 10 Meter Höhe

Es wurde auch die Wasserreiserbildung im Kronenraum der Traubeneichen-Z-Stämme analysiert. Es zeigte sich, dass in den Kontrollflächen mehr Wasserreiser zu beobachten waren als in den aktiv behandelten Flächen. Tabelle 4.28 zeigt die Verteilung der Wasserreiserbildung oberhalb von 10 Metern Höhe nach den waldbaulichen Behandlungsregimes. Aufgrund von eingeschränkten Stichprobenumfängen durch fehlende Beobachtungswerte in den Durchforstungsregimes war die Berechnung eines log-linearen Modells nicht möglich. Die Testvoraussetzungen zu erwarteten Zellhäufigkeiten wurden schwer verletzt, eine Überprüfung des Standorteinflusses war darum nicht möglich. Analysiert wurde mittels Chi-Quadrat-Test ein Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Ausprägung von der Wasserreiserbildung oberhalb 10 Metern Höhe. Im Gegensatz zu den beiden niedrigeren Bonitierungsbereichen konnte ein signifikanter Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Wasserreiserbildung mit  $\chi^2(3) = 24,09$ ;  $p < ,000^{**}$  identifiziert werden. Das symmetrische Maß nach Kramer-V zeigte eine schwache Effektstärke von 0,21.

Tab. 4.28: Anzahl der Z-Stämme mit Wasserreisern oberhalb von 10 Metern Höhe aufgeteilt nach den beiden Ausbildungsklassen >5 und <5 Stück

Waldbauliche Behandlung	Wasserreiserbildung oberhalb 10m [Stk.]	
	> 5 Stück	< 5 Stück
Kontrollvariante	22 (17%)	107
Negativauslese	11 (8%)	124
schwache positive Auslese	10 (8%)	114
starke positive Auslese	0 (0%)	125

Die relativen Zahlenwerte von Tabelle 4.28 zeigen, dass mit nachlassender Durchforstungsintensität der Anteil der Traubeneichen, die erhöhten Wasserreiserbesatz in der Krone aufwiesen, von 0% auf 17% stieg. Dieser Effekt ist jedoch nicht im ausreichenden Maße mit absoluten Zahlen hinterlegt; auch die schwache Effektstärke nach Kramer-V zeigt, dass dieser Effekt nicht sehr stark ausgeprägt ist. Dennoch lässt sich statistisch signifikant zeigen, dass kontinuierlich bedrängte Eichenkronen im Traubeneichenpflegeversuch eher zur Wasserreiserbildung neigten als solche, denen direkt oder indirekt durch Durchforstungen geholfen wurde. Darüber hinaus kann konstatiert werden, dass sich der Besatz mit Wasserreisern im Kronenraum indirekt proportional zum Gradienten der Behandlungsintensität verhält.

### 4.3.2.9 Verzwieselungen

Das Auftreten von Zwieseln nach waldbaulicher Behandlung, Standort und Altersklasse wurde mittels eines log-linearen Modells analysiert. Da mehrfach Zellhäufigkeiten bei null lagen, wurde lediglich ein 3-faches Interaktionsmodell (Field 2009) von Waldbauliche Behandlung\*Zwiesel\*Altersklasse geschätzt. Der likelihood-Quotient ergab nach Signifikanzprüfung, dass lediglich die Interaktion (K) von zwei Variablen möglich war ( $p < .000$ ). Das errechnete Modell zeigt, dass zwischen den Altersklassen signifikant ungleiche Gruppengrößen nach  $\chi^2 (2) = 55,15$ ;  $p < ,000^{**}$  herrschten. Das Auftreten von Zwieseln an den Z-Stämmen war statistisch signifikant unterscheidbar  $\chi^2 (1) = 84,92$ ;  $p < ,000^{**}$ . Demnach unterschieden sich die beiden Gruppen von Z-Stämmen ohne Zwiesel (360 Z-Stämme) und mit Zwieseln (154 Z-Stämme). Die Interaktion waldbauliche\_Behandlung\*Zwiesel war signifikant  $\chi^2 (3) = 15,66$ ;  $p < ,001^*$ . Demnach herrscht in unterschiedlichen waldbaulichen Behandlungen eine unterschiedliche Häufigkeit des Auftretens von Zwieseln vor. Das Modell wurde auf seine Verlässlichkeit geprüft und akzeptiert, da keine Zelle der Matrix einen kleineren Absolutwert als fünf zeigte.

Das Auftreten von gezwieselten Z-Stämmen ist in Tabelle 4.29 dargestellt. Demnach zeigt sich, dass in den Negativauslesen konsequent wipfelschäftige Bäume als Z-Stämme ausgewählt wurden und der Anteil der Z-Stämme mit Zwiesel mit 20,7% am geringsten ausfällt. Die beiden positiven Auslesen bewegten sich im Mittelfeld, die Kontrollvariante zeigte den höchsten Anteil von vorwüchsigen Z-Stämmen mit Zwieseln.

Tab. 4.29: Zwieselanteile der Z-Stämme

Waldbauliche Behandlung	Auftreten von gezwieselten Z-Stämmen [%]	
	ungezwiesel	gezwiesel
Kontrollvariante	58,5	41,5
Negativauslese	79,3	20,7
schwache positive Auslese	75	25
starke positive Auslese	67,2	32,8

Auffällig war die Häufung der Z-Stämme mit Zwieseln auf Buntsandstein (Standort „Rohrbrunn“). Die Abbildungen 4.6 – 4.8 zeigen den Anteil von Z-Stämmen mit Zwieseln nach den drei Altersklassen des Traubeneichenpflegeversuchs und nach Standort getrennt. Die Effekte der Negativauslese, die den gezwieselten Z-Stammanteil reduziert und das gehäufte Auftreten von Zwiesel in den Kontrollflächen werden dabei ersichtlich.

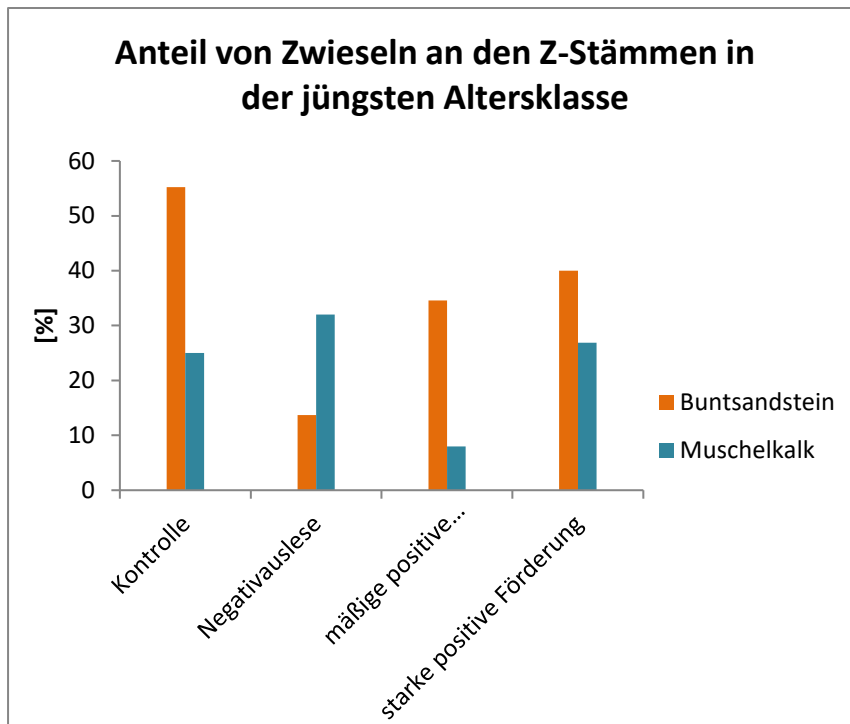


Abb. 4.6: Anteile von Zwieseln an den Z-Stämmen in der jüngsten Altersklasse des Traubeneichenpflegeversuchs

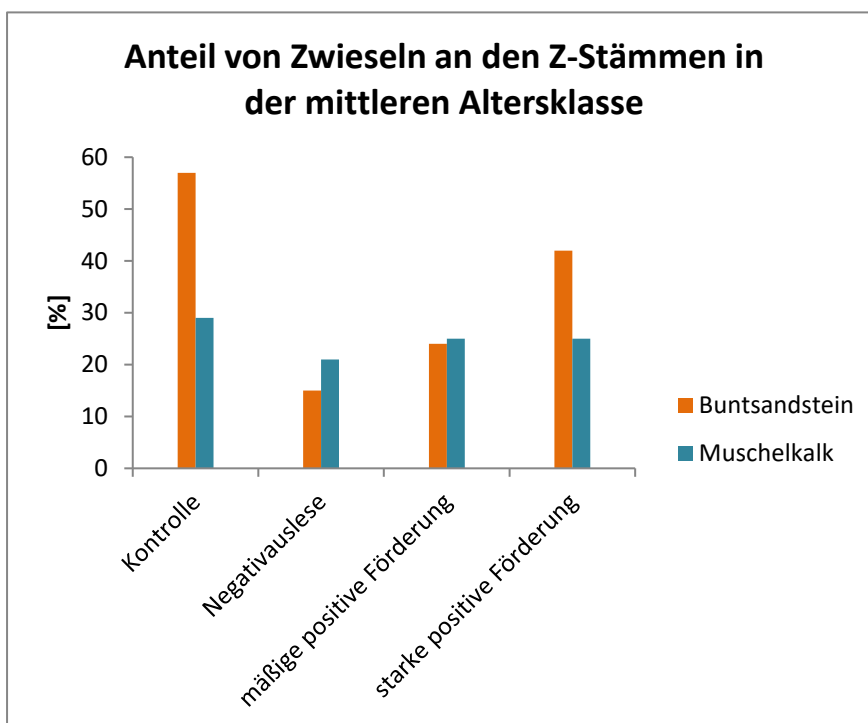


Abb. 4.7: Anteile von Zwieseln an den Z-Stämmen in der mittleren Altersklasse des Traubeneichenpflegeversuchs

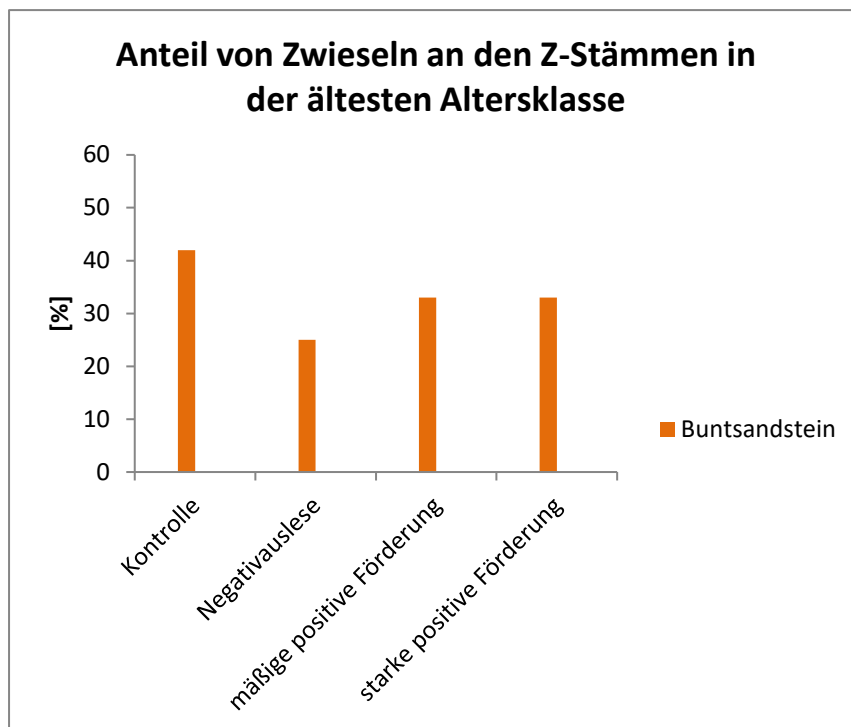


Abb. 4.8: Anteile von Zwieseln an den Z-Stämmen in der ältesten Altersklasse des Traubeineichenpflegeversuchs

Die Frage nach dem Standorteinfluss auf das Auftreten von Zwiesel wurde mittels eines Chi-Quadrat-Tests nach Pearson beantwortet. Hierfür ergibt sich mit  $\chi^2(1) = 5,69$ ;  $p < ,05^*$  ein statistisch signifikanter Effekt. Die Effektstärke nach Kramer-V ergab nur einen geringen Einfluss (0,1), dieser ist jedoch statistisch abgesichert. Die Berechnung der odds zeigte, dass das Auftreten eines Zwiesels bei einem Z-Stamm auf Buntsandstein mit einer 1,6-fach höheren Wahrscheinlichkeit als auf Muschelkalk eintritt.

#### 4.3.2.10 Krümmungen

Krümmungen spielten innerhalb der Z-Stämme des Traubeineichenpflegeversuchs keine nennenswerte Rolle. Lediglich 12 von 513 Z-Stämmen zeigten Krümmungen. Dies entspricht einem Anteil an gekrümmten Bäumen von 2,3%. Trotz erschwelter Analysevoraussetzungen ob der geringen Gruppengröße des Kollektivs der gekrümmten Z-Stämme wurden - nach Altersklassen getrennt - Chi-Quadrat-Analysen durchgeführt. Diese untersuchten einen waldbaulichen Einfluss auf auftretende Krümmungen. Sie wurden mit verschärftem Signifikanzniveau bei den statistischen Tests bewertet, da der Stichprobenumfang gering war. So wurde jedes Mal der exakte Test nach Fischer an das Ergebnis angelegt. Tabelle 4.30 zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse.

Tab. 4.30: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests für die Unterscheidung von waldbaulicher Wirkung auf das Auftreten von Krümmungen nach Versuchsbeständen getrennt

Bestand	$\chi^2$ -Wert (3)	p-Wert nach Pearson	p-Wert nach Fischer	Kramer-V
„Jockel“	2,31	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,14
„Hehler“	1,83	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,13
„Stinkgräben“	2,04	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,14
„Rindshügel“	3,61	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,18
„Ochsenau“	2,59	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,16

Es wird ersichtlich, dass in keinem Versuchsbestand des Traubeneichenpflegeversuchs die waldbauliche Behandlung mit dem Auftreten von Krümmungen in Verbindung gebracht werden konnte. Die waldbauliche Behandlung wirkt demnach nicht auf den Phototropismus der jungen Traubeneichen. Die überragende Mehrheit der Stämme zeigte keine Krümmungen und war in sich gerade. Auch die recht geringen Werte der Effektstärke nach Kramer (symmetrisches Maß nach Kramer-V) zeugen von keinem bzw. nur sehr geringem Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf auftretende Krümmungen. Aus Sicht einer zukünftigen Holzverwendung führten alle vier waldbaulichen Behandlungsweisen zu gestreckten Achsen und somit sehr guter Holzqualität.

#### 4.3.2.11 Indexierte Qualität

Jeder der 513 Eichen-Z-Stämme wurde mit einer dichotomen Qualitätsvariable belegt, die indexiert war. Summarisch ergab sie, ob ein Stamm als hervorragend oder aber mangelbehaftet einzustufen war. Hervorragend besagte hier, dass in Zukunft Furniertauglichkeit zu erwarten ist. Bestandsweise wurde mittels Chi-Quadrat-Tests analysiert, in wie weit die waldbauliche Behandlung die in einer Kennziffer zusammengefasste Qualität beeinflusste. Tabelle 4.31 zeigt die Ergebnisse dieser Analyse.

Tab. 4.31: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests zur Klärung der Frage nach der waldbaulichen Wirkung auf die indexierte Qualität nach Versuchsbeständen getrennt

Bestand	$\chi^2$ -Wert (3)	p-Wert nach Pearson	p-Wert nach Fischer	Kramers-V
„Jockel“	4,99	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,21
„Hehler“	4,35	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,20
„Stinkgräben“	2,35	p > 0.05 n.s.	p > 0.05 n.s.	0,15
„Rindshügel“	9,59	p < 0.05*	p > 0.05 n.s.	0,30
„Ochsenau“	11,02	p < 0.05*	p > 0.05 n.s.	0,33

Auf Buntsandstein war keine Wirkung der waldbaulichen Behandlung auf die Qualitätskennziffer zu erkennen. Weder Pearson's p-Wert noch der „Exakte Test nach Fischer“ liefern Anhaltspunkte dafür, dass die jungen Traubeneichen durch die Art der waldbaulichen Behandlung unterschiedliche Qualitäten aufweisen. Auf Muschelkalk hingegen



zeigte der Chi-Quadrat-Wert nach Pearson in beiden Beständen Signifikanz. Demnach wäre ein waldbaulicher Effekt auf die Mängelbehaftung der Erdstammstücke zu attestieren. Der „Exakte Test nach Fischer“ erkennt im Gegensatz zu Kramer's p diesen Effekt nicht. Dies gilt insbesondere im Versuchsbestand „Rindshügel“, bei dem schwerwiegende Verletzungen der Testvoraussetzungen vorlagen, so dass an und für sich nur der „Exakte Test nach Fischer“ betrachtet werden darf (Field 2009). Trotzdem deuten die Effektstärken nach dem symmetrischen Maß nach Kramer-V darauf hin, dass es zumindest einen Effekt der waldbaulichen Behandlung auf Muschelkalk gibt. Dieser Effekt war jedoch in den beiden Versuchsbeständen auf Muschelkalk nicht gleichgerichtet, obgleich sich beide Behandlungsweisen im bisherigen Versuchsgeschehen als ähnlich hinsichtlich Grundflächenhaltung und Stammzahl zeigten. Im jüngeren der beiden Versuchsbestände („Rindshügel“) zeigte sich die Negativauslese als das waldbauliche Verfahren, welches überdurchschnittlich hervorragende Qualitäten hervorbrachte. Im älteren Bestand („Ochsenau“) war dies die schwache positive Auslese, also ein gänzlich anderer waldbaulicher Behandlungsansatz.

Der älteste Bestand „Stinkgräben“ blieb aufgrund des Fehlens eines Vergleichsbestandes auf Muschelkalk bei der Analyse unberücksichtigt. Der likelihood-Quotient des Modells ergab nach Signifikanzprüfung, dass lediglich die Interaktion (K) von drei Variablen möglich war ( $p < ,000$ ), obgleich vier Variablen in das Modell aufgenommen wurden (Qualität, waldbauliche Behandlung, Standort und Altersklasse). Das Modell wurde auf seine Verlässlichkeit hin überprüft und akzeptiert. Die Testvoraussetzungen, dass alle Matrix-Zellen größer als fünf sein müssen sowie die standardisierten Residuen kleiner eins gehalten werden mussten, wurden eingehalten. Im errechneten Modell zeigte sich lediglich die Qualität als signifikante Variable mit  $\chi^2 (1) = 114,10$ ;  $p < ,000^{**}$ . Hiernach bestanden Unterschiede zwischen den Z-Stämmen hinsichtlich ihrer summarischen Qualitätseinschätzung. Die erste der beiden signifikanten 3-er Interaktionsvariablen war Standort\*Altersklasse\*Qualität mit  $\chi^2 (1) = 8,08$ ;  $p < ,05^*$ . Dies bedeutet, dass es bezüglich der Qualität Unterschiede hinsichtlich von Standort und Altersklasse gab: Während sich in der jüngsten Altersklasse kaum Unterschiede auftaten, so wurde in der zweiten Altersklasse die überdurchschnittliche gute Qualität der Eichen auf Muschelkalk vom Modell identifiziert und betont. Die zweite signifikante der 3-er Interaktionsvariablen war waldbauliche\_Behandlung\*Altersklasse\*Qualität  $\chi^2 (3) = 17,94$ ;  $p < ,000^{**}$ . Dies besagt, dass die Qualität in unterschiedlichen Altersklassen nach der waldbaulichen Behandlung unterschiedlich war. In der jüngsten Altersklasse („Dickung“) waren die Qualitäten in den beiden Behandlungsmodellen Kontrolle und Negativauslese den beiden positiven Auslesen überlegen. In der älteren Altersklasse („Stangenholz“) war dieser Effekt genau andersherum – die positiven Förderungen übertrafen die Kontrolle und die Negativauslese.

#### 4.3.2.12 Kraft'sche Klasse der Eichen-Z-Stämme

Für alle 513 Z-Stämme des Traubeneichenpflegeversuchs wurde die soziale Stellung im Bestand im Zuge der Datenerhebung erfasst. Über diese Variable wurde zum einen geprüft, ob gemäß der Versuchsintention konsequent die Vitalität der als Z-Stämme gewählten Bäume vor deren Qualität gesetzt wurde. Darüber hinaus wurde analysiert, ob es in bestimmten waldbaulichen Behandlungsregimes bei der Auswahl von Z-Stämmen überdurchschnittlich oft zu Entscheidungen für nur co- oder gar sub-dominante Bäume gab. Die Überprüfung dieser Frage erfolgte mittels eines log-linearen Modells für die Variable Kraft'sche\_Klasse, die dichotom codiert war. Ein Baum war entweder vorherrschend und damit in der Kraft'schen Klasse 1 oder nicht. Wegen der nicht gegebenen Testvoraussetzungen für log-lineare Modelle musste der Bestand „Stinkgräben“ aus der Analyse entfernt werden, wodurch sich der Stichprobenumfang auf 417 Traubeneichen reduzierte. Die Bewertung der Kraft'schen Klasse orientierte sich an den ca. zehn nächsten Bäumen der Z-Stämme im unmittelbaren Umfeld und schloss alle Baumarten, also auch Buchen mit ein. Abbildung 4.9 veranschaulicht die Verteilung der Traubeneichen-Z-Stämme über die Kraft'schen Klassen nach erfolgter Auszeichnung,

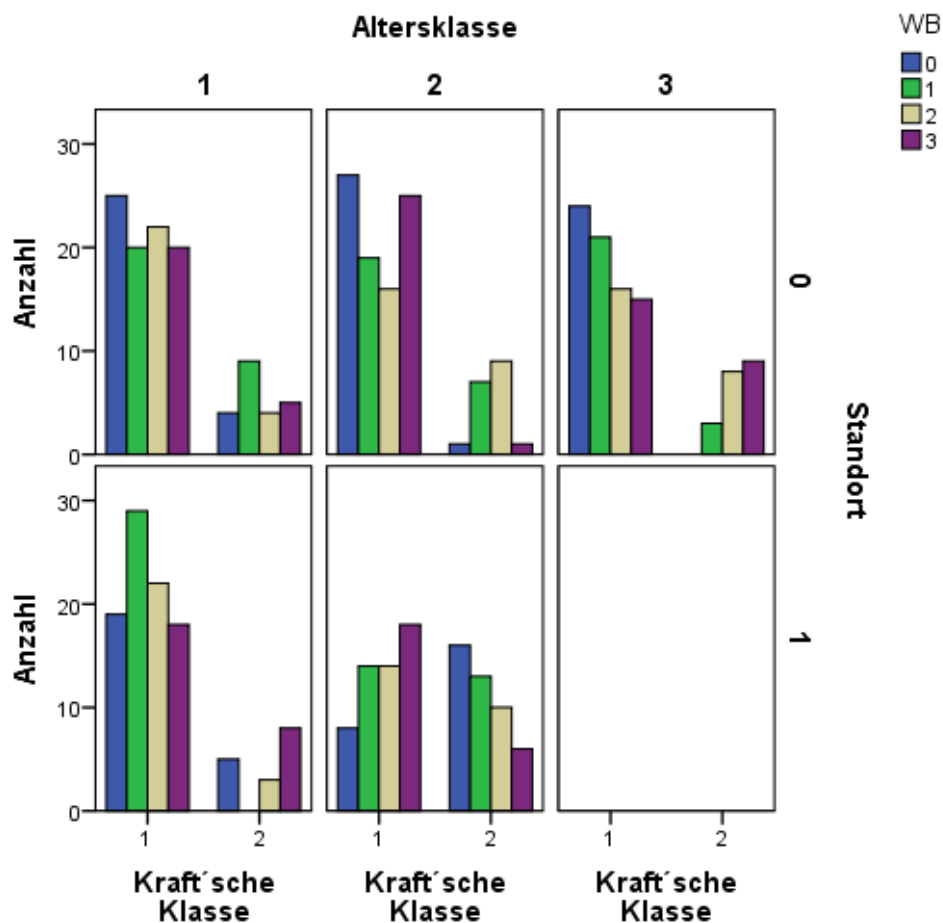


Abb. 4.9: Verteilung der Z-Stämme des Traubeneichenpflegeversuchs über die Kraft'schen Klassen im Jahr 2012 [Standort 0 = Buntsandstein, Standort 1 = Muschelkalk, WB = waldbauliche Behandlung]

Das log-lineare Modell behält nicht alle möglichen Variablen und Interaktion bei ( $K=4$ ;  $\chi^2(3) = 7,24$ ;  $p > ,05$ ). Eingespeist wurden die Variablen Altersklasse, Standort, waldbauliche\_Behandlung sowie die Kraft'sche\_Klasse. In Summe wurden sechs Einflussvariablen bzw. Interaktionen aus diesen als signifikant im Modell identifiziert. Die Kraft'sche\_Klasse allein war hochsignifikant mit  $\chi^2(1) = 116,37$ ;  $p < ,000^{**}$ . Dies bedeutet, dass Unterschiede zwischen den Kollektiven des Versuchs hinsichtlich der Kraft'sche Klasse bestanden. Die Interaktion von Kraft'sche\_Klasse\*Altersklasse war signifikant mit  $\chi^2(1) = 10,05$ ;  $p < ,05^*$ . Daraus ist zu schließen, dass es zwischen den Altersklassen hinsichtlich der soziologischen Stellung der Bäume Unterschiede gibt. Analog gilt dies für den Standort, der über die Interaktion Kraft'sche\_Klasse\*Standort mit  $\chi^2(1) = 7,63$ ;  $p < ,05^*$  signifikant ist. Weiterhin waren drei 3-er-Interaktionen signifikant:

Standort\*waldbauliche\_Behandlung\*Kraft'sche\_Klasse mittels  $\chi^2(3) = 20,45$ ;  $p < ,000^{**}$ , Standort\*Altersklasse\*Kraft'sche\_Klasse mittels  $\chi^2(1) = 18,38$ ;  $p < ,000^{**}$  und

waldbauliche\_Behandlung\*Altersklasse\*Kraft'sche\_Klasse mittels  $\chi^2 (3) = 17,00; p < ,05^{**}$ . Diese drei Interaktionsterme deuten darauf hin, dass es neben standörtlichen Effekten auch die Art der waldbaulichen Behandlung ist, die Rückschlüsse auf die Vitalität der Eichen-Z-Stämme erlaubt. Auf Muschelkalk waren die Anteile co- bzw. sub-dominanter Eichen angesichts erhöhter Buchenvitalität höher als auf Buntsandstein. Dieses Ergebnis ist im Zusammenhang mit dem erhöhten Eichenausfall in den Versuchsfeldern auf Muschelkalk zu sehen, welcher in Kapitel 4.3.2.13 beschrieben wird. Der Standorteffekt war in der zweiten Altersklasse wesentlich intensiver ausgeprägt als in der jüngsten – die Buchenkonkurrenz konnte sich hier offenbar aufgrund der längeren Wachstumsdauer in den älteren Beständen stärker auswirken. Die waldbauliche Behandlung als Komponente der Interaktionsterme zeigt auf, dass in den aktiv gepflegten Beständen der Anteil co- oder sub-dominanter Eichen geringer war als in den Kontrollflächen. In den stillgelegten Kontrollflächen überwucherten die Buchen die Traubeneichen und relativierten so die soziologische Stellung der Traubeneichen, wenngleich innerhalb der Baumart die vitalsten als Z-Stämme gewählt wurden. Die deutlich erhöhten Anteile der Traubeneichen-Z-Stämme innerhalb der Kraft'schen Klasse 1 zeigen, dass dem Kriterium Vitalität bei der Z-Baumauswahl hohe Priorität zugemessen wurde. Auffällig ist, dass innerhalb der Negativauslese vergleichsweise leicht erhöhte Anteile co- oder sub-dominanter Traubeneichen festgestellt wurden. Da bei der Auswahl der Z-Stämme in den Versuchsfeldern keinerlei Aspekte der Konkurrenzsteuerung eine Rolle spielten und die gewählten Z-Stämme im Gegensatz zu den beiden aktiven positiven Förderungen im Vorfeld ungefordert waren, überrascht dies aber nicht. Die Traubeneichen der Negativauslese waren in einer Matrix co-dominanter Bäume eingebettet, während die seit fast 30 Jahren positiv geförderten Bäume weitgehend ohne direkte Bedränger aufwuchsen.

#### 4.3.2.13 Eichenanteile und –ausfallraten

Die Kontrollflächen des Traubeneichenversuchs bieten die Möglichkeit Aussagen zum Ausfall der Traubeneichen durch natürliche Konkurrenz der Buche zu treffen. Im Jahr 1984 lagen bei der Versuchsanlage die Eichenanteile in der herrschenden Schicht bei 100%, generell führte die Traubeneiche anteilmäßig auf jedem Versuchsplot. Die konsequente Hiebsruhe in den Beständen erlaubte nach der Aufnahme in den Jahren 2012/2013 Aussagen zur natürlichen Dynamik in Eichen-Buchen-Beständen nach 29 Jahren zu treffen. Abbildung 4.10 zeigt die beobachteten Eichenanteile im Herrschenden (dominierende Kronenschicht des Bestandes) nach dem Anteil der Traubeneichen an den  $h_{100}$ .

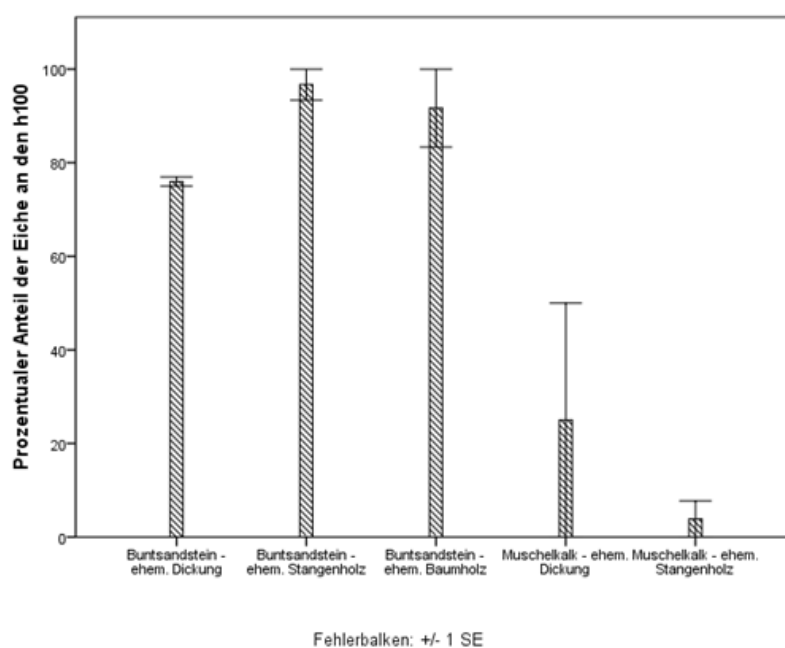


Abb. 4.10: Eichenanteile an den  $h_{100}$  in den Kontrollflächen nach 29 Jahren. Gestartet wurde immer bei 100%. Fehlerbalken entsprechen einem Standardfehler.

Ersichtlich wird, dass es keinen einheitlichen Einfluss der Altersklasse auf den Anteil der Traubeneichen an den  $h_{100}$  gibt. Vielmehr ist es die Geologie, die Unterschiede aufzeigt. Auf Muschelkalk sanken die Traubeneichenanteile von 100% auf 25% im Bestand „Rindshügel“ und auf 4% im Bestand „Ochsenau“. Auf Buntsandstein lagen die Eichenanteile in der ehemaligen Dickung bei 76%, in den beiden älteren Beständen bei 96% und 92%. Der intensive Abfall des Eichenanteils auf Muschelkalk bedeutete jedoch nicht, dass keinerlei Eichen mehr auffindbar waren. Die noch vorhandenen Exemplare waren allerdings vielfach zwischen Buchenkronen eingeklemmt und soziologisch auf die Kraft'sche Klasse 3 und schlechter abgedrängt. Auffällig ist auch, dass auf Buntsandstein in der Dickung, die nach dem Alter 13 Jahre nicht mehr gepflegt wurde, die Eichenanteile um 24% gesunken waren. Diese Dynamik ist im physiologisch nächstälteren Stangenholz derart nicht zu verzeichnen, denn hier hat die Eiche lediglich 4% Anteil verloren.

Aus den verlorenen Anteilen der Traubeneichen an den  $h_{100}$  wurden bezogen auf den Beobachtungszeitraum von 29 Jahren linear jährliche Ausfallraten extrapoliert. Das Fehlen weiterer Aufnahmepunkte auf der Zeitachse erlaubte keine andere mathematische Funktion als die lineare Extrapolation. Beliebiger Funktionswahl wäre sonst die Folge gewesen. Abbildung 4.11 zeigt die linear extrapolierten Ausfallraten über die Zeit bis zum Erreichen eines Traubeneichenanteils von 0% an den  $h_{100}$ . Dies bedeutet nicht den Totalausfall der Traubeneichen aus den Beständen, wohl aber aus dem Kollektiv der herrschenden Bäume. Die jährlichen linear extrapolierten Ausfallfaktoren, die Eingang in die Berechnungen für Abbildung 4.11 fanden, sind in Tabelle 4.32 dargestellt.

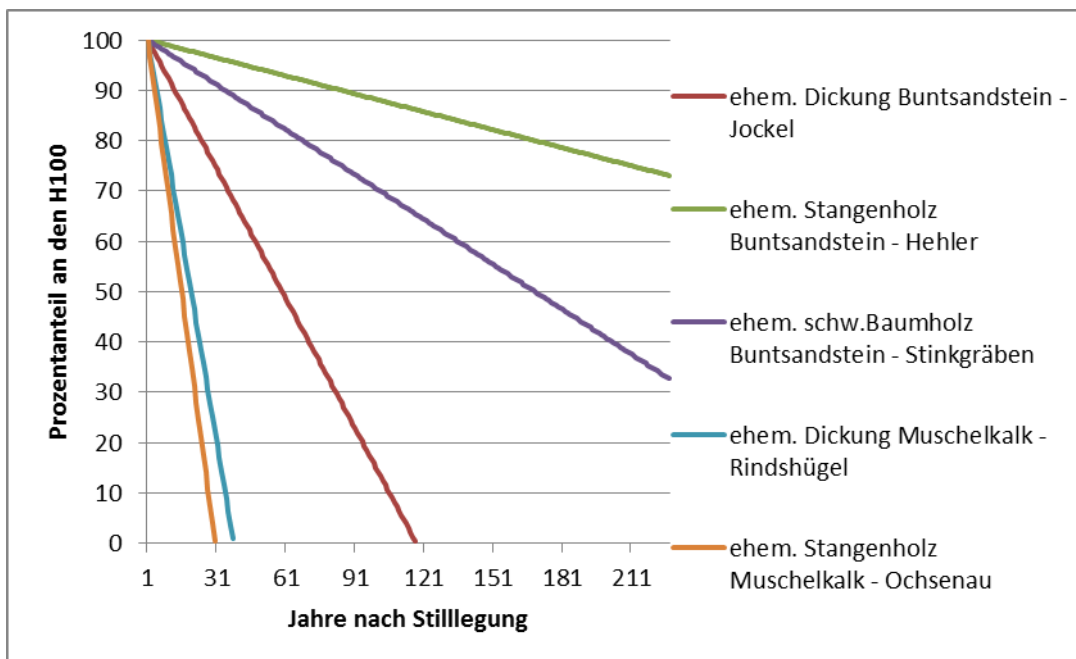


Abb. 4.11: Darstellung des Ausfalls der jungen Traubeneichen in linearer Extrapolation in den Kontrollflächen des Versuchs

Aus Abbildung 4.11 wird ersichtlich, dass auf Muschelkalk eine sehr hohe Dynamik vorherrscht. Der Buchenanteil steigt hier jährlich auf Kosten der Traubeneiche (vgl. Tabelle 4.32).

Tab. 4.32: Mittlere jährliche Verlustrate an Eichenanteilen im Herrschenden in den Kontrollparzellen

<b>Bestand</b>	<b>Verlustrate</b>
„Jockel“	0,86 %
„Hehler“	0,12 %
„Stinkgräben“	0,30 %
„Rindshügel“	2,68 %
„Ochsenau“	3,43 %

Dies führt dazu, dass bei Flächenstilllegung in der Dickungsstufe hypothetisch bereits im Alter 39 Jahre der Anteil dominanter Eiche bei 0% läge. In der Stangenholzstufe ist dieser Effekt sogar noch stärker, hier wäre 30 Jahre nach Stilllegung die Traubeneiche aus dem Herrschenden verdrängt. Auf Buntsandstein ist keine so intensiv ausgeprägte Dynamik zu verzeichnen. Jedoch wäre für die ehemalige Dickungsstufe, die ebenfalls im Alter von 13 Jahren stillgelegt wurde, auch ein Totalausfall der Traubeneiche aus dem Herrschenden vor Ende klassischer Umtriebszeiten im Alter von 117 Jahren zu verzeichnen. Lediglich die beiden ältesten Bestände auf Buntsandstein ließen erwarten, dass nennenswerte Eichenanteile im Herrschenden bis zum Ende einer klassischen Umtriebszeit verbleiben könnten. Auffällig ist auch, dass sich die Traubeneichen in der Altersklasse 1 und 2 auf den beiden Geologien unterschiedlich verhielten. Auf Buntsandstein lag die höchste Ausfallrate in der jüngsten Altersstufe, auf Muschelkalk in der mittelalten.

## **4.4 Diskussion**

Im folgenden Kapitel werden die verwendeten Daten, Methoden und Ergebnisse diskutiert und kritisch im Literaturvergleich beleuchtet. Der Bezug zu den Forschungshypothesen aus Kapitel 1.2 wird nicht in dieser Diskussion, sondern erst nach allen drei Teilstudien in Kapitel 7 hergestellt.

### **4.4.1 Diskussion der erhobenen Daten**

Die aus den Versuchsflächen erhobenen Daten zielten darauf, Fragestellungen zum Wachstum und der Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen zu beantworten. Zentrale biometrische Daten wie BHD, Höhe oder Kronenschirmfläche werden standardmäßig als Weiser des Baumwachstums (Pretzsch 2002, Husch et al. 2003, Kramer & Akça 2008) herangezogen. Der Vergleich dieser Weiser erlaubt somit Beurteilungen über die Art des Wachstums von Bäumen, zumal diese Daten, insbesondere die Höhe, auch zur allgemeinen forstlichen Bonitierung genutzt werden (Wiedemann 1949, Jüttner 1955, Erteld 1956, Assmann 1961, Schober 1993). Die Fokussierung auf Astigkeitsmerkmale in Form von astfreier Schaftlänge, der Länge der Totastzone, der indexierten Qualität (beeinflusst von Totästen) und der Wasserreiser erfolgte aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für die Wertholzeinwertung in der Eichenwirtschaft. Schulz (1959 & 1961), Zieren (1970), Fleder (1976 & 1981 & 1988), Krapfenbauer & Hochbichler (1984), Hochbichler & Krapfenbauer (1988), Hochbichler et al. (1990), Mosandl et al. (1991), Spiecker (1991), Göttlein (1994b), Mosandl & Kleinert (1998), Metzger (1999), Küster (2000), Schroeter (2000), Diwold (2008) sowie Storch (2011) und Attocchi (2013) sehen in den Astigkeitsmerkmalen die zentrale Größe für die Bewertung von Eichenwertholz, so dass die Fokussierung auf diese in der vorliegenden Studie als gerechtfertigt erscheint, um die Güte des erwachsenen Holzes zu bewerten. Neben den genannten Merkmalen wirkt auch die Krümmung auf die Art der Verwendbarkeit von Eichenholz.

Die Erhebung der Daten in den Versuchsplots als systematische Vollaufnahme führte zu einer soliden und verlässlichen Datenbasis, die ausreichende Stichprobenumfänge für die statistischen Analysemethoden lieferte.

### **4.4.2 Diskussion der statistischen Methoden**

Die verwendeten varianzanalytischen Methoden lineare Regression und ANOVA sowie LMM, stellen in naturwissenschaftlichen Untersuchungen und Datenanalysen allgemein akzeptierte Auswertungsansätze dar. Sie führen zu klaren, transparenten, belastbaren und objektiven Ergebnissen und sind bei Einhaltung der Testvoraussetzungen statistisch sehr robust (Field 2009). Die Berücksichtigung der in der vorliegenden Studie vorhandenen hierarchischen Versuchsstruktur durch den Einsatz von LMMs führt zu verlässlicheren und robusteren



Ergebnissen als klassisch-einfache varianzanalytische Methoden wie ANOVA (Heck et al. 2010). Eine Missachtung der Testvoraussetzungen (u.a. Unabhängigkeit der Beobachtungen) hätte schwerwiegend auf die Ergebnisse gewirkt (Field 2009, Heck et al. 2010) und mitunter zu falschen Schlussfolgerungen geführt.

In der jüngeren Vergangenheit haben sich hierarchische Analyseverfahren als neuer Standard in der Datenanalyse etabliert (Field 2009, Heck et al. 2010). Stetig verbesserte Rechnerleistung und die Erweiterung gebräuchlicher Statistikpakete um hierarchische Modelle haben zur Verbreitung dieser Modelle beigetragen. Sie ersetzen unter anderem aufwendige und schwer zu deutende Rechenoperationen mit ANOVA (z.B. Kontrastrechnung). Dadurch erleichtern sie einerseits die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse, andererseits sind die Ergebnisse statistisch robuster.

Die Analyse von nominalen Daten erfolgte in vorliegender Arbeit unter der gleichen Prämisse statistischer Vorsicht wie die der metrischen Daten. Die verwendeten Verfahren (log-lineare Modellierung) stellen den Standard der Auswertbarkeit nominaler Daten dar und gelten als robust und verlässlich (Field 2009). Die Anwendung des Statistikpakets SPSS erlaubte allerdings keine Berücksichtigung von Clusterung in den zu bewältigenden Rechenmodellen, so dass diese in ihrer Aussagekraft den hierarchischen Modellen nachstehen. Zur Einhaltung der Testvoraussetzungen und zur Erhöhung der Aussagekraft der errechneten Modelle, wurden allerdings bei geringfügigen Verletzungen der Testprämissen verschärfte Maßstäbe angelegt. So wurde beispielsweise der „Exakte Test nach Fischer“ als auch ein verschärftes Signifikanzniveau angelegt (Field 2009). Derart wurde auch den erschwerten Auswertungsbedingungen durch die Versuchsfehler der Vergangenheit begegnet. Die Robustheit der Ergebnisse stand dabei bei allen Modellberechnungen im Vordergrund. Mangelnden Stichprobenumfängen oder eingeschränkter Verlässlichkeit der Ergebnisse wurde durch explizite Hinweise auf diese Umstände, die Verwendung größerer, aber dafür robusterer Methoden oder aber einem Verzicht auf schließende Statistik begegnet.

#### **4.4.3 Diskussion der Ergebnisse**

Im Folgenden werden die Ergebnisse, die in Kapitel 4.3 dieser Teilstudie vorgestellt wurden, diskutiert und einem kritischen Literaturvergleich unterzogen.

##### **4.4.3.1 Ergebnisse auf Ebene der Bestände**

Traditionell werden Eichenbestände auf Ebene des Bestandes betrachtet und analysiert, der einzelne Eichenstamm steht dabei im Hintergrund und erfährt wenig Beachtung. Diese Form der Betrachtung korrespondiert mit der traditionellen waldbaulichen Behandlungsart für Eichenbestände. In der klassischen Negativauslese wurde der Blick stets auf das „Schlechte“ gerichtet und dieses dem Bestand entnommen. Die als gut veranlagt und erhaltenswert

eingestuften Bäume erfuhren nur als Kollektiv Beachtung. Ihre individuelle Konkurrenzsituation blieb un- oder zumindest wenig berücksichtigt und beeinflusst (vgl. Krahl-Urban 1959, Fleder 1976 & 1981, Preushler & Stögbauer 1990). In dieser Tradition von Massenleistung und Flächenproduktivität wurden und werden Eichenversuche in Anlehnung an Nadelholzbestände ertragskundlich untersucht und beschrieben (u.a. Jüttner 1955, Krahl-Urban 1959, Fleder 1976 & 1981, Preushler & Stögbauer 1990, Preushler et al. 1993, Pretzsch & Utschig 1995, Anta & Gonzales 2005, Uhl et al. 2015). Die waldbaulichen Schlussfolgerungen fokussieren dabei konsequenterweise auf das Bestandesgefüge als Kollektiv von Bäumen und nicht auf die Einzelstämme (Andrzejczyk 2009).

In den letzten Jahren rückten allerdings, insbesondere bei den Eichen, die flächenbasierten Betrachtungsansätze der Nadelholzwirtschaft in den Hintergrund. Der Blick richtete sich zunehmend auf den Einzelbaum. Die Wertleistung wurde vermehrt am einzelnen Wertträger im Bestand verortet und nicht mehr an der Massenleistung eines Bestandeskollektives festgemacht (u.a. Hochbichler et al. 1990, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Nutto 1999, Wilhelm et al. 1999, Hochbichler 2008, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013). Diese Betrachtungsweise setzt sich im Übrigen auch bei der Saatgutgewinnung in Eichenbeständen durch (Hardtke et al. 2016). Z-Baumkonzepte (vgl. Wiedemann 1935, Altherr 1971, Abetz 1975), die in Deutschland seit den 1960er Jahren (vgl. Röhrig et al. 2006) im Nadelholz und in Buchenbeständen Anwendung fanden, wurden auch für Eichenbestände erprobt und umgesetzt. Der der vorliegenden Studie zu Grunde liegende Traubeneichenpflegeversuch leistete hierbei einen wichtigen Beitrag.

Der Traubeneichenpflegeversuch steht in einer langen Versuchstradition und lässt Rückschlüsse über die Entwicklung junger Eichenbestände vom Alter 13 Jahre bis in das Alter 79 Jahre zu - siehe dazu auch El Kateb et al. (2006) in Kombination mit den Ergebnissen in Kapitel 5 dieser Studie. Auf die intensive Fortsetzung der bestandesweisen Zeitreihen wurde in der hier vorliegenden Studie allerdings verzichtet. Grund dafür sind zum einen die Fehler in der Versuchsdurchführung im Jahr 1998 und zum anderen das Erreichen einer Zäsur im Versuchsverlauf, dem Zeitpunkt des Erreichens der Wahl der Z-Stämme und damit der Loslösung von bestandesweisen Betrachtungen.

Dabei zeigte sich auch das wesentlichste bestandeskundliche Ergebnis des Versuchs. Es waren in den Beständen der Versuchsflächen mehr als genügend Z-Baum-Optionen aufzufinden. Eine Ausnahme bildeten lediglich die Kontrollflächen auf Muschelkalk, auf denen die Eiche fast gänzlich ausgefallen war. Die Bäume überzeugten hinsichtlich Vitalität und Qualität und fast alle Arten der vorangegangenen waldbaulichen Behandlung hatten zu keiner Vernichtung von Auswahlpotentialen geführt. Die Wahl von 100 Z-Stämmen (Reineke 1933, Kenk 1984, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Dong et al. 1997, Wilhelm et al. 1999, Nagel 2007, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013) im Alter von 35 Jahren konnte problemlos

erfolgen und entsprechend der Forderung von Spiecker (1991) konnten vitale und qualitativ hochwertige Eichen als Z-Stämme gefunden und gefördert werden. Das Alter zur Identifikation der Z-Stämme ist jünger als es Spellmann & v. Diest (1990) angeben, die von einer Z-Baumauswahl vor dem Alter 40 in jungen Eichenbeständen abraten. Auch Noack (2014) verweist aufgrund hoher Ausfallrisiken von bis zu 75% darauf, in Eichenbeständen angesichts von Umsetzungsprozessen erst spät in die Z-Baumauswahl einzusteigen und mit sogenannten Reservisten zu arbeiten. Die vorliegende Studie kommt diesbezüglich zu entgegengesetzten Ergebnissen und empfiehlt analog zu Klädtke (1990) und Mosandl et al. (1991) die späte Auswahl von Z-Bäumen sowie das Vorhalten von Reservisten explizit nicht. Dies bezieht sich allerdings nur auf Z-Baumdurchforstungen ab dem Zeitpunkt der Z-Stamm-Auswahl, ab der mit der Endstammzahl gearbeitet werden soll (Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Hochbichler 1993 & 2008, Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013). In jungen Eichenbeständen kann und soll ggf. Auslesedurchforstung mit einer erhöhten Anzahl von geförderten Bäumen erfolgen (vgl. Leibundgut 1966, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Hochbichler 1993, Nutto 1999, Andrzejczyk 2009)

#### **4.4.3.2 Ergebnisse auf Ebene der Z-Stämme**

##### **Brusthöhendurchmesser – real und virtuell**

Die Diskussion der BHD-Entwicklungen erfolgt in der vorliegenden Arbeit unter Berücksichtigung der real gemessenen BHDs und der, zur Abschätzungen der Wuchspotentiale der jungen Traubeneichen-Z-Stämme, durch Simulationen gewonnen BHDs. Grund dafür ist, dass die real gemessenen BHDs die wahren Wachstumspotentiale nicht aufzeigen können. Da es von Versuchsbeginn an Ziel war, Möglichkeiten und Grenzen der Eichenbewirtschaftung auszuloten, soll hier auch das potentiell Mögliche Berücksichtigung finden.

Dass Wuchssteigerungen hinsichtlich des BHDs bei Eichenbeständen möglich sind, gilt seit langem als erwiesen. Ergebnisse aus Mittelwäldern und in jungen Hochwäldungen, die progressiv durchforstet wurden zeigen, dass im Vergleich zu traditionell konservativ gepflegten Eichen aus Hochwäldern, wesentlich früher Hiebsreife erlangt wird (Cotta 1828, Hartig 1861, Heyer 1893, Hamm 1896 & 1900, Vlad 1940, Holten 1986, Krisl & Müller 1989, Crockford & Savill 1991, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Savill & Kanowski 1993, Kerr 1996 & 2002, Dong et al. 1997, Küster 2000, Hubert & Courrad 2002, Dong et al. 2007, Hochbichler 2008, Beinhofer & Knoke 2009, Hein 2009, Summa & Mosandl 2009, Mosandl et al. 2010, Lemaire 2010, Groß & Konold 2010). Die vorliegende Auswertung des Traubeneichenpflegeversuchs zeigt, dass aufgrund der inkonsequenten Pflege im Jahr 1998 nur noch in den jüngsten Beständen signifikante Effekte einer Behandlung auf das Durchmesserwachstum

nachgewiesen werden konnten. Allerdings widersprachen diese Effekte den forstlich-praktischen Erwartungen, da die ungepflegten Versuchsflächen überlegenes Durchmesserwachstum zeigten; wohingegen die gezielt geförderten Eichen aus den positiven Förderungen im Wachstum zurück fielen (Abt et al. 2012). Dass in den älteren Wuchsklassen keine Effekte nachweisbar waren, deckt sich mit den Ergebnissen vorangegangener Studien zur Eichenbewirtschaftung (Utschig et al. 1993, Pretzsch & Utschig 1995, Utschig 2000, Lockow 2006). Diese attestieren der Eiche ab etwa Alter 40 Jahre nur mehr eine geringe bis nicht mehr nachweisbare Reaktionsfähigkeit im BHD-Wachstum in Folge von lichtwuchsartiger Durchforstung. Lediglich Kronenausbau findet mitunter noch statt (Pretzsch & Utschig 1995). Lockow (2006) konnte beispielsweise für niederdurchforstete Eichen aus Brandenburg, die ab dem Alter 67 Jahre progressiver behandelt wurden, im Alter von 193 Jahren nur teilweise Hiebsreife konstatieren. Dies lässt auf keinen Effekt der Wachstumssteigerung durch die veränderte Behandlung schließen. Erfolgen die Förderungen hingegen 20 Jahre früher im Alter von etwa 20 Jahren, so sind substantielle BHD-Wachstumsgewinne zu beobachten. Kerr (1996) berichtet von 10 cm BHD-Zugewinn im Alter 58 Jahre durch stete Lichtwuchsdurchforstung im Vergleich zu dichtgehaltenen Vergleichskollektiven. Nagel (2007) berichtet von Eichen, die im Alter von 60 Jahren 5 cm BHD-Unterschied zwischen intensiv geförderten Individuen und Kontrollbäumen aufweisen. Utschig (2000) konnte hochdurchforstungsartig geförderten Individuen, die im Alter von 48 Jahren positive gefördert wurden, zumindest noch 15% erhöhtes BHD-Wachstum attestieren. Schaper (1977) berichtet von Stieleichenbeständen aus Dänemark, die bei nahezu pseudosolitärem Wuchs vom Jugendstadium an am Ende der Produktionszeit bis zu 20 cm BHD-Wuchsvorsprung im Vergleich zur Ertragstafel vorweisen konnten. Hier war allerdings Astung zur Qualitätssicherung notwendig. Auch für Kenk (1984) steht fest, dass positive Förderungen das BHD-Wachstum anregen können, die Umtriebszeit aber dennoch nicht unter 180 Jahre absenkbar sei. Dhôte (1997) geht ebenfalls von einer maximalen Reduktion der Umtriebszeit von 20 Jahren für Hochwaldeichen aus. Schmaltz et al. (1997) berichteten auf Basis ihrer Untersuchungen, dass weitständig begründete Eichenbestände höhere BHD-Zuwächse aufwiesen als eng begründete. Ein Analogieschluss zu Durchforstungen in jungen Eichenbeständen erscheint hier zulässig. Spellmann & Baderschneider (1988) beschreiben allerdings genau den gegenteiligen Effekt. Ebenso negiert Wachter (2009) waldbauliche Pflanzverbandeffekte und damit auch Effekte früher Pflegeeingriffe, da seiner Meinung nach genetische Einflüsse aufgrund unterschiedlicher Herkünfte die Wachstumseffekte in Pflanzverbands- und Pflegeversuchen überdecken würden. Für die vorliegende Studie muss dies dahingehend berücksichtigt werden, dass die Eichen des Spessarts anderer Herkunft sind als die der Mainfränkischen Platte. Standorteinflüsse als Proxy für einen Provenienzeffekt erwiesen sich aber als nicht signifikant.

Ungeachtet potentieller, genetischer Unterschiede, konnten durch die durchgeführten Simulationen wesentliche Unterschiede im BHD-Wachstum der Z-Stämme nach unterschiedlicher waldbaulicher Behandlung nachgewiesen werden. Waren diese Unterschiede auf Basis waldbaulicher Behandlung mit den real aufgefundenen BHDs nicht zu erkennen, so konnten die Simulationen die Überlegenheit der positiven Auslesen gegenüber den klassischen Negativauslesen und den Stilllegungen aufzeigen. Bis zu 6,4 cm BHD-Zugewinn sind durch inkonsequente Durchforstung im ältesten Bestand „Stinkgräben“ in der mäßigen positiven Förderung nicht realisiert worden. Dieser Wert ist ein maximaler Wert und basiert auf der Simulation des stärksten Zuwachses bezogen auf alle Bäume. Er stellt eine absolute Obergrenze des Wuchspotentials dar, führt damit aber explizit zur Erfüllung der Anforderungen an den Traubeneichenpflegeversuch, der genau dies herausarbeiten und aufzeigen soll. Die Analyse der maximalen Zuwächse im Wuchsgeschehen „maximal growth“ führte zu statistisch analogen Ergebnissen wie im Simulationsgang „average growth“. Eine nähere Betrachtung der maximalen Potentiale scheint vor dem Hintergrund der Zielsetzung des Traubeneichenpflegeversuchs noch interessanter als die der Mittleren und steht somit absolut konträr zu der traditionellen forstlichen Absicht der Eichenwirtschaft, möglichst enge Jahrringbreiten zu produzieren (s.u.).

Der geringste BHD-Wachstumsverlust durch die inkonsequenten Durchforstungen war im älteren Bestand („Ochsenau“) auf Muschelkalk zu verzeichnen. Hier betrug er nur 19,9 mm im Pflegeregime mäßige positive Förderung („2“). In den anderen Beständen übertraf diese Art der waldbaulichen Behandlung allerdings konsequent die intensive positive Förderung. Sie erwies sich somit als diejenige Durchforstungsvariante, mit der sich die höchste Wuchssteigerung der Einzelbäume erreicht ließ. Interessanterweise waren es somit nicht die intensiven positiven Förderungen, die eine maximale Wuchsreaktion am Einzelbaum provozierten. Über die Gründe hierfür kann auf Basis dieser Arbeit nur spekuliert werden.

Die durchgeführten Analysen ergaben, dass im überschlägig-allgemeinen Mittel in den Beständen seit Beginn der Pflegearbeiten etwa 40 mm zusätzlicher BHD-Zuwachs durch mäßige positive Auslesen an den Z-Stämmen möglich gewesen wäre. Dies ist aus waldbaulicher Sicht ein beachtlicher Wert, der einer arithmetischen Steigerung der Jahrringbreite um 1,3 mm pro Jahr entspricht. Damit kann gängigen Annahmen widersprochen werden, die bei Eichen von extrem geringen BHD-Zuwächsen ausgehen. Das finanzielle Ausmaß einer solchen Wuchssteigerung und einer damit einhergehenden möglichen Reduktion von Umtriebszeiten wird in Kapitel 5 der vorliegenden Arbeit besprochen. Dort erfolgt auch auf Basis des ermittelten Wachstumspotentials eine investitionsrechnerische Beurteilung der waldbaulichen Pflegeregime.

Die Folgen der inkonsequenten Versuchsdurchführung im Jahr 1998 machen deutlich, wie wichtig in Eichenbeständen die Auslese nach der Vitalität ist und dass sich die Wahl

subdominanter Bäume binnen 13 Jahren deutlich in der Dimensionsentwicklung der Z-Stämme bemerkbar macht.

Somit konnten auch die „Durchforstungsfehler“ zu einem wichtigen Ergebnis des Traubeneichenpflegeversuchs beitragen. Die hier diskutierte Wuchsbeschleunigung zwischen aktuell aufgefundenen und potentiellen BHDs erfolgte nur innerhalb der Pflegeregime, nicht zwischen ihnen. Auffällig war, dass sich die Eichen auch in den Kontroll- und Negativausleseflächen nicht signifikant voneinander unterschieden. Dies bedeutet, dass durch die Negativauslesen keine bedeutsamen Vorteile gegenüber der Variante „Nichts tun“ erzielt werden konnten. Insofern ist die in der Vergangenheit gemäß der sog. „Spessartrechte“ (Vanselow 1960) praktizierte temporäre Stilllegung der Eichenbestände für 60 bis 70 Jahre im Sinne konservativer Eichenbehandlung als nicht kontraproduktiv zu werten. Sie führt mit Sicherheit zu engen Jahrringbreiten, dem klassischen Produktionsziel der Furniereichenwirtschaft (Mayer-Wegelin 1952, Schulz 1955, Krahl-Urban 1959, Kirst 1963, Fleder 1976 & 1981, Polge 1984, Göttlein 1994a, Metzger 1999). Dhôte & Hervé (2000) führen aus, dass dieses klassische Produktionsziel aufgrund der atmosphärischen Entwicklungen (äolische Stickstoffeinträge) heutzutage nicht mehr erreichbar sei, da diese die Wuchsbedingungen zu sehr begünstigen. Cedro (2007) argumentiert analog.

Dem Effekt einer gemittelten engen oder weiten Jahrringbreite wurde in dieser Studie wenig Gewicht beigemessen, da Untersuchungen von Schulz (1955), Göttlein (1994b), Diwold (2008) und Beinhofer (2010) sowie aktuelle Submissionsergebnisse aus Süddeutschland zeigen, dass die Dimension eines Eichenwertholzstückes die wesentlichste preisbestimmende Variable und der Einfluss der Jahrringbreite auf Verkaufserlöse eher theoretischer Natur ist. Aufgrund dessen wurde in vorliegender Studie auch die erreichte Dimension im Kontext der dafür benötigten Zeit beleuchtet und nicht die sich dabei einstellende Jahrringstruktur.

Zusammenfassend gilt festzuhalten, dass junge Traubeneichen, die von frühester Jugend an positiv gefördert werden – und in einer Matrix aus dienendem Bestand stocken – in ihrem Wachstum klassisch durch negative Auslese gepflegten Eichen überlegen sind. Voraussetzung hierfür ist, dass von Beginn an die vitalsten Stämme begünstigt werden und nicht zu Gunsten überragender Schaffformen Bäume der Kraft'schen Klasse 3 als Ausleseebäume gewählt werden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass in allen drei Altersklassen signifikante Effekte der Wachstumsbeschleunigung nachweisbar sind, was eine zielgerichtete und wirklich effektvolle Förderung in jungen Altern angebracht erscheinen lässt.

## Höhen

Grundsätzlich gilt die Höhenentwicklung von Bäumen als unabhängig von der Art und Intensität der Durchforstung. Darum erfolgt die Bonitierung von Beständen – auch Eichenbeständen - anhand der Oberhöhe (Jüttner 1955, Pretzsch 2002, Kramer & Akca 2008),

solange ein Baum nicht in stark strukturierten Beständen durch Konkurrenz unterdrückt wird (Duchiron 2000, Schütz 2001, Pretzsch 2002). Die absolute Höhe von Bäumen ist hierbei von der Standortgüte, dem erreichten Alter und genetischen Faktoren abhängig (Ducouso et al. 1996).

Die Bonitierung der Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs kam zu dem Ergebnis, dass alle Bestände besser als Ertragsklasse I wuchsen (Jüttner 1955) und bestätigen damit neueste waldwachstumskundliche Erkenntnisse (Pretzsch et al. 2013, Pretzsch et al. 2014). Ebenso ließ sich die Kulmination des Höhenwachstums bei der Eiche im Alter von etwa 30 Jahren (vgl. Noack 2014) bestätigen.

Eine Wirkung der Durchforstungsstärke auf die erreichte Höhe der Eichen-Z-Stämme im Traubeneichenpflegeversuch konnte nicht festgestellt werden. Dieser Befund deckt sich mit Erkenntnissen von Preushler et al. (1993) sowie Dong et al. (2007) und untermauert den Bonitierungsgrundsatz nach der Oberhöhe (s.o.). Schaper (1977), Spellmann & Baderschneider (1988) sowie Schmaltz et al. (1997) wiesen in diesem Kontext jedoch gegenteilige Ergebnisse für junge Eichenbestände nach – mit steigender Baumzahl steigerte sich das Höhenwachstum. Petersen et al. (2009) fanden ebenfalls einen Dichteeffekt auf das Höhenwachstum von Eichen, jedoch negativ proportional zur Dichte. Uhl et al. (2006) zeigten an Solitären, dass bei Einzelstand Eichen signifikant niedriger blieben als in Bestandessituationen. Guericke et al. (2008) berichten für junge Eichen, dass in Reinkultur erwachsene Bäume höher erwachsen als Bäume in Nesterpflanzungen. Saha et al. (2012) konnten in der von ihnen durchgeführten Meta-Analyse diesen Effekt nicht nachweisen. Dieser Effekt lässt sich für die vorliegende Studie nicht bewerten, da alle Versuchsbestände in Reinkultur gesät worden waren.

Die Beleuchtung des Einflusses der Durchforstung auf das Höhenwachstum zeigt vor allem, die Heterogenität der in der Literatur beschriebenen Effekte. Auch starke Eingriffe, wie sie in der vorliegenden Studie vorgenommen wurde, verursachten keine Höhendepression im Wuchs der jungen Traubeneichen und vernichteten somit keine Höhenwuchspotentiale an den Z-Stämmen. Befürchtungen bezüglich der Wuchsleistung der werttragenden Einzelbäume lassen sich demnach nicht bestätigen.

### **Kronenschirmflächen**

Allometrisch wird zwischen BHD und Kronendurchmesser bzw. –schirmfläche von Eichen von Hemery et al. (2005) sowie Hochbichler (2008) ein straffer Zusammenhang gesehen. Ebert & Rieger (2000) negieren einen solchen Zusammenhang für die Eiche. Auch Pretzsch & Utschig (1995) konnten diese Korrelation so nicht nachweisen, da waldbaulich geförderte ältere Eichen zwar mit ihrem Kronenvolumen, nicht aber mit erhöhtem BHD-Zuwachs reagierten.

Im Traubeneichenpflegeversuch stehen jedem Trauben-Eichen-Z-Stamm theoretisch 100 m<sup>2</sup> Kronenschirmfläche zur Verfügung, da mit 100 Z-Stämmen im Versuch operiert wurde. Dieser Wert leitet sich nach Überlegungen zum Stand Density Index (SDI) nach Reineke (1933) ab, wonach 100 Z-Stämme mit einem Ziel-BHD von 70 cm pro Hektar biologisch möglich sind. Die im Rahmen vorliegender Studie ermittelten Kronenschirmflächen weichen allerdings noch wesentlich von dieser Zielgröße ab. Festgestellt wurden überschirmte Flächen von 13,8 m<sup>2</sup> bis 34,3 m<sup>2</sup>, wobei mit steigendem Alter die Kronenschirmflächen ihrerseits anstiegen. Dong et al. (1997) stellten für Eichen im Pfälzer Wald im Alter 60 Jahre Schirmflächen von im Schnitt 16,3 m<sup>2</sup> fest, im Alter 93 Jahre 26,4 m<sup>2</sup>. Die dieser Studie zugrundeliegenden Bäume wurden ebenfalls positiv gefördert und die maximale Z-Baum-Anzahl lag bei 100 Stück pro Hektar. Die hier vorgestellten Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs zeigen, dass die unterfränkischen Eichen größere Kronen aufweisen. Nach Feineis (1971) ist dies allerdings zum Erziehen enger Jahrringe nicht erwünscht. Spiecker (1983) nennt Summen der Kronenschirmfläche pro Hektar für 80 Z-Stämme, die beim Herunterbrechen auf ein zur vorliegenden Untersuchung vergleichbares Einzelbaumniveau in etwa zu Kronenschirmflächen von 23 m<sup>2</sup> bis 36 m<sup>2</sup> führen. Gemessen an seinen Untersuchungsergebnissen sind die jungen Traubeneichen des Traubeneichenpflegeversuchs in ihrem Kronenausbau im vorderen Wachstumsbereich angesiedelt.

Interessanterweise ließen sich mit den durchgeführten Analysen uneinheitliche Wirkungen der Art der Durchforstung auf die Größenentwicklung der Kronenschirmflächen nachweisen. In den jüngsten Altersklassen waren keine signifikanten Effekte der Behandlung auf das Wachstum der Kronen beschreibbar, in den beiden älteren hingegen schon. Doch waren diese uneinheitlich gerichtet. In den mittelalten Beständen waren die Kronen der Bäume in den Kontrollparzellen am wenigsten entwickelt. Dieser Befund deckt sich mit Utschig (2000), der an Eichen in Hochdurchforstung größere Kronen als an niederdurchforsteten Eichen feststellte. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen wurden aber im ältesten Versuchsbestand („Stinkgräben“) an den ungeforderten Traubeneichen größere Schirmflächen festgestellt als an den positiv geförderten Individuen. Dieser Effekt lässt sich schwer erklären, könnte aber auf folgende zwei hypothetische Gründe zurückgeführt werden. Erstens wurden vorwüchsige Eichen im Zuge der Pflege im Jahr 1998 inkonsequenterweise eingeschlagen, dadurch sind die heute stockenden Bäume kein Spiegelbild von maximalen Potentialen mehr. Zweitens könnten die unterentwickelten Kronen der intensiv geförderten Bäume darauf hinweisen, dass die Pflegeeingriffe zu extensiv stattfanden und Pflegeeffekte verpufften. Dies wäre ein Hinweis auf zu lange Pflegeintervalle.

Unabhängig von den theoretischen Überlegungen zu den Gründen uneinheitlicher Reaktion der Eichenkronen konnte analog zu Pretzsch & Utschig (1995) festgestellt werden, dass



Eichen auch im Alter mit einem Ausbau der Krone reagieren können. Dieser Kronenausbau treibt allerdings nicht das Durchmesserwachstum in vergleichbarer Weise an. Eine Art Lichtwuchsdurchforstung, wie sie Pretzsch & Utschig (1995) für Buchen und Rebmann bereits 1920 für Eichen beschrieben haben, erscheint auf Grundlage der Ergebnisse vorliegender Studie nicht zielführend.

### **Kronenansatzhöhe**

Die Kronenansatzhöhe erfuhr in den modernen Laubholzerziehungskonzepten der letzten Jahre intensive Aufmerksamkeit. Abgeleitet von Mittelwaldeichen (Wilhelm et al. 1999, Hochbichler 2008, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013) wird die Kronenansatzhöhe dabei aus zweierlei Gründen intensiv beleuchtet:

Zum einen sollen Bäume in der Regel schnellstmöglich dimensioniert werden. Da die Endhöhe limitiert ist, kann eine Verlängerung der Krone und damit eine Erhöhung des Kronenvolumens als Assimilationszentrum für das Wachstum nur durch eine Verlängerung nach unten befördert werden. Dies gilt insbesondere für Lichtbaumarten, die im Alter weniger Möglichkeiten zeigen den Kronenausbau verspätet zu beginnen bzw. nachzuholen (Wilhelm et al. 1999, Hochbichler 2008, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013).

Zum anderen zeigen Bäume mit sehr hoch angesetzten Kronen bei über 20 Meter Höhe (Fleder 1976 & 1981, Preushler & Stögbauer 1990) unzureichende Astreinigung, wonach Eintrittspforten für Sauerstoff und Schimmelpilze entstehen, die die Holzverfärbung begünstigen (Butin & Volger 1982, Butin & Kowalski 1983, Knoke & Schulz Wenderoth 2001, Knoke et al. 2006). Allerdings bedeutet eine hoch angesetzte Krone nicht automatisch eine lange astfreie Schaftlänge – die wissenschaftliche Literatur differenziert hier vielfach unzureichend. Eine fundierte Beurteilung bzgl. der Qualitätsentwicklung der wertholzhaltigen Abschnitte des Stamms kann nur in einer sehr differenzierten Auslegung des Begriffs „astfreie Schaftlänge“ und „Kronenansatzhöhe“ liegen. Beide Größen hängen voneinander ab, sind aber nicht zwingend deckungsgleich. Darum ist es in der Beurteilung der Vor- und Nachteile bestimmter waldbaulicher Behandlungsweisen notwendig, die Ergebnisse zu Kronenansatzhöhe, astfreier Schaftlänge und Totastzone in einer Gesamtschau zu beurteilen. Im vorliegenden Versuch lagen die durchschnittlichen Kronenansatzhöhen in den jüngsten Beständen bei minimal 7,53 m, in den Ältesten bei maximal 14,27 m Die höchste gemessene Einzelhöhe lag bei 18,90 m im ältesten Bestand in der Behandlungsvariante „klassische Negativauslese“. Idealerweise sollte die Kronenansatzhöhe im Endbestand bei etwa einem Drittel der Endbaumhöhe liegen (Wilhelm et al. 1999, Hochbichler 2008, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013). Diese Prämisse wird bei einer erwarteten Endbaumhöhe von etwa 35 Metern auf den betrachteten Standorten bereits in jungen Altern verletzt. Die jüngsten Bestände haben ihr Potential noch nicht ausgenutzt, die älteren bereits teilweise überschritten.

Für die jüngsten Traubeneichen muss aber für die Zukunft beobachtet werden, ob ein „Anhalten“ der Kronenansatzhöhen möglich ist (vgl. Wilhelm et al. 1999, Wilhelm & Rieger 2013) oder ob ein Prozess des „Nachlaufens“ stattfinden wird (vgl. Dong et al. 1997). In der Erwartung, dass ein schlagartiges „Anhalten“ der Kronenbasis nicht eintritt und trotz intensiver Freistellung noch einige untere Äste absterben werden, sind auch in den jüngsten Beständen keine ungenutzten Wertholzproduktionspotentiale für die Zukunft zu erwarten.

Die Art der waldbaulichen Behandlung hatte in der vorliegenden Studie in keiner Behandlungsvariante und in keinem Bestandesalter einen signifikanten Einfluss auf die Kronenansatzhöhe. Weder die sich selbst überlassenen Traubeneichen in den Kontrollen noch die unterbliebenen zielgerichteten Beeinflussungen der Konkurrenzverhältnisse in den klassischen Negativauslesen waren für die Ausbildung langer astfreier Schäfte förderlich. Dies bedeutet, dass keine Verkürzung des astfreien Schafts durch die starke positive Förderung von einzelnen Eichen befürchtet werden muss. Frühzeitiger Kronenausbau geht demnach nicht zu Lasten der astfreien Schaftlänge

### **Astfreie Schaftlängen**

Astfreiheit gilt als eines der zentralen Qualitätsmerkmale von Laubholz. Sie wird insbesondere bei der Deklaration von Eichenwertholz zwingend vorausgesetzt und darum in Erziehungskonzepten intensiv beleuchtet (Köstler 1952, Schulz 1955, Krahl-Urban 1959, Heckel 1977, Fleder 1981, Röhrig & Schaper 1983, Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Polge 1984, Hochbichler & Krapfenbauer 1988, Spellmann & Baderschneider 1988, Hochbichler et al. 1990, Sachsse & Grünebaum 1990, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Hochbichler 1993, Peters & Becker 1995, Schmaltz et al. 1997, v. Lüpke 1998, Wilhelm et al. 1999, Dong et al. 2007, Nagel 2007, Diwold 2008, Lemaire 2010, Szymanski et al. 2010, Storch 2011, Deutscher Forstwirtschaftsrat & Deutscher Holzwirtschaftsrat 2014). In klassischen Erziehungskonzepten gelten lange astfreie Schaftlängen (vgl. Fleder 1976 & 1981) von bis zu 20 m als waldbauliches Ziel (vgl. Preushler & Stögbauer 1990). Davon wurde allerdings zunehmend abgewichen und gegenwärtig werden, zugunsten des Kronenaubaus, astfreie Schaftlängen von etwa 25% bis 35% der absoluten Endbaumhöhe angestrebt (Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010). Im standörtlichen Mittelbereich, in dem in der Regel Eichenwirtschaft betrieben wird, liegen diese Längen bei ungefähr acht bis zehn Meter. Diese Astfreiheit wurde im Traubeneichenpflegeversuch nicht durchweg erreicht. Insbesondere die jüngsten Bestände zeigten astfreie Schaftlängen von nur etwa fünf bis sechs Meter Länge. Bei angenommener fortschreitender Astreinigung bis zum Höhenniveau der Kronenansatzhöhe durch das Verschwinden der Totastzonen, würden die Wertholzpotentiale jedoch angehoben, so dass eine unzureichende Ausnützung der Wertholzoptionen nicht zu befürchten ist.

In diesem Kontext ist es auch erforderlich, detaillierter auf die positive Wirkung des Nebenbestandes<sup>7</sup> einzugehen. Rebel (1922), Krahl-Urban (1959), Röhrig & Schaper (1983), Mosandl et al. (1991), Spiecker (1991) sowie Junod et al. (2001) weisen darauf hin, dass dienender Bestand zur Eichenwertholzproduktion in hohem Maße förderlich beziehungsweise weitestgehend unverzichtbar sei. In der Interpretation der im Traubeneichenpflegeversuch gewonnenen Ergebnisse ist der flächig auftretende Buchennebenbestand von 1120 bis 3720 Stück pro ha zu berücksichtigen. Die auf den Versuchsflächen erfolgte natürliche Astreinigung ist auf ihn zurückzuführen, da keine Ästungen durchgeführt wurden. Wesentlich hierfür ist die sogenannte „Buntmischung“ des Bestandes, wonach die Eichen-Z-Stämme zur Förderung der natürlichen Astreinigung in einer Matrix von Nebenbestand stocken müssen. Für Eichenbestände wird zwar grundsätzlich hinsichtlich Mischungsformen von einzelbaumweisen Mischungen abgeraten (Freist 1985, Bäucker & Bues 2009), dies gilt jedoch in erster Linie für den Oberstand. Der Nebenbestand muss flächig als „grüner Schleier“ auf der Fläche vertreten sein, um seine Funktion zu erfüllen. Schaper (1977), Holten (1986) und Attocchi (2015) berichten von dänischen und schwedische Stieleichenanbauten, bei denen gänzlich auf Unterbau verzichtet wurde und die mittels Astung auch astfrei erzogen werden konnten. Diese Astungen erfolgen aber über die gesamte Lebenszeit und inkludieren das Abstoßen von wiederkehrenden Wasserreisern. Das Produktionsziel ist dabei allerdings nur Schnittholzware – Furnierqualitäten können auf diese Weise nicht erreicht werden. In ähnlicher Ausrichtung haben Zieren (1970), Krapfenbauer & Hochbichler (1984), Hochbichler & Krapfenbauer (1988), Hochbichler et al. (1990), Kerr (1996), Wilhelm et al. (1999), Murat R (2005), Jensen & Skovsgaard (2009) sowie Lemaire (2010) Produktionsprogramme zur Eichenproduktion beschrieben, die auf Formschnitt und Astung basieren, einen Nebenbestand aber nicht per se ausschließen. Diese Programme greifen inhaltlich Überlegungen zur Astung auf, die bereits für den Mittelwald von Hamm (1900), Vlad (1940) sowie Köstler (1955) konzipiert wurden. Mögliche negative Effekte eines höchst vitalen und durchstechenden Buchennebenbestandes werden im Abschnitt „Eichenanteile“ dieses Kapitels diskutiert.

Für den Traubeneichenpflegeversuch zeigten die Analysen keine einheitlich gerichtete Wirkung der waldbaulichen Behandlung auf die Astreinigung der Eichen. Effekte konnten lediglich in den mittelalten Beständen nachgewiesen werden. Hier zeigten ungeförderte Eichen signifikant längere astfreie Schäfte als Eichen in positiver Förderung. Absolut lagen die astfreien Schafthöhen der jungen Traubeneichen jedoch noch in einem für für Wertholzproduktion akzeptablen Bereich. Hinsichtlich Begründungsdichte konnten Becker et al. (1990), Sachsse & Grünebaum (1990), Grünebaum et al. (1993), Peters & Becker (1995), Ammer & Dingel (1997), Schmaltz et al. (1997) und Dong et al. (1997 & 2007) bei weitständig

---

<sup>7</sup> Als Nebenbestand wird ein dienender Bestand unter einem Hauptbestand verstanden. Diese Definition deckt sich nicht mit der sächsischen Auslegung des Begriffs Nebenbestand, wonach Nebenbestände räumlich neben anderen Beständen stocken.

begründeten Eichen keine schlechtere Astreinigung feststellen als bei eng begründeten. Dale & Sonderman (1984) sowie Kint et al. (2010) und Attocchi (2015) konnten dies jedoch nicht bestätigen. Gaul & Stüber (1996) konnten zeigen, dass in Nelderversuchen in Weitverbänden nur etwa 10% der Eichen überdurchschnittliche Qualitäten erreichten. Auch wenn Begründungsdichte und Durchforstungsstärke differenziert betrachtet werden müssen, erscheint ein Vergleich im Fall des Traubeneichenpflegeversuchs statthaft, da die jüngsten Versuchsbestände bereits im Alter von 13 Jahren geläutert und Ausleseebäume begünstigt wurden. Des Weiteren beschreiben die genannten Autoren Vorteile bei der Verheilung der Astnarben bei weitständig begründeten Eichen, die schnellere Überwallungen zeigten (vgl. hierzu auch Nutto 1999). Diesem Befund widerspricht Storch (2011), der eine Hemmung der Überwallung bei dickeren Ästen durch Verkernung feststellte. Zur Untersuchung dieses Aspekts wurden im Rahmen der Geländeaufnahmen im Traubeneichenpflegeversuch keine spezifischen Parameter erhoben, so dass differenzierte Aussagen hierzu nicht getroffen werden können.

### **Totastzone**

Wie bereits erwähnt, spielt in der Eichenproduktion die Astfreiheit eine zentrale Rolle (s.o.). Des Weiteren wird die Kronenansatzhöhe intensiv betrachtet und unterschiedlichste Anforderungen an diese formuliert. In klassischen Produktionskonzepten ist die Kronenansatzhöhe in großer Höhe angesiedelt (Fleder 1976 & 1981, Preushler & Stögbauer 1990, Spiecker 1991), gegenwärtig wird sie bei etwa einem Drittel der Endbaumhöhe angehalten (Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010). Zwischen der astfreien Schaftlänge und dem Kronenansatz als intensiv diskutierten Kenngrößen der Eichenwirtschaft befindet sich allerdings noch ein im Allgemeinen wenig berücksichtigter Abschnitt des Eichenstammes, die sogenannte Totastzone am Erdstammstück, in der sich die Reste von ehemaligen Ästen, meist als Aststummel, befinden. Spellmann & Baderschneider (1988) stellten in jungen Eichenbeständen fest, dass eng begründete Eichen eine schlechtere Astreinigung aufwiesen als weitbegründete – die messbaren Totastzonen waren länger. Szymanski et al. (2010) konnten einen Zusammenhang zwischen Standortgüte sowie Alter und der Ausprägung der Totastzone nachweisen. Je besser der Standort war und je älter ein Bestand wurde, desto länger fielen die Totastzonen der Bäume aus. Nach Butin & Kowalski (1983) ist die Astreinigung bei Eiche eine Funktion der Belichtung und der Einwirkung von Pilzen. Demnach besteht die Erwartung, dass intensive positive Förderungen die Astreinigung unterbinden und auch zu größeren Totastzonen führen. In vorliegender Studie konnte allerdings kein signifikanter Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Ausprägung der Totastzonen festgestellt werden. Diese lag im Mittel der Behandlungen und Alter zwischen 268 cm und 430 cm – dies entspricht bis zu 50% der Höhe bis zur Kronenbasis. Damit finden merkbare

Verringerungen des Wertholzvolumens statt, da die Astigkeitsmerkmale unterhalb der Kronenbasis das astfreie Stammstück verkürzen. Nachdem die Eichenbestände noch relativ jung sind, wird allerdings davon ausgegangen, dass angesichts des vorhandenen Buchennebenbestandes (s.o.) eine weitergehende Astreinigung stattfinden wird und es dadurch im weiteren Versuchsverlauf zur Erhöhung des Wertholzvolumens kommt.

### **Wasserreiserbesatz**

Die Bildung von Wasserreisern und ihre Ursachenforschung sind seit langem Gegenstand forstwissenschaftlicher Forschung und stehen nach wie vor im Fokus. Dabei kommt den Weißeichen eine besondere Rolle zu. Stiel- und Traubeneichen sind jene Baumarten, die in der europäischen Forstwirtschaft klassischerweise mit Wasserreiserbildung assoziiert werden. Bei keiner anderen in Mitteleuropa angebauten Baumartengruppe wird Wasserreiserbildung derart thematisiert und in das Zentrum forstlicher Forschung gestellt. Die Ursachen der Wasserreiserbildung werden in genetischen Faktoren (Birner 1933, Ward 1966, Savill & Kanowski 1993, Fontaine et al. 1998 & 2001, Jensen 2000, Colin et al. 2008 & 2010), dem Standorteinfluss (Jensen 2000, Muchin 2005), der waldbaulichen Behandlung (Fabricius 1932, Birner 1933, Schreiner 1933, Seeholzer 1934, Mayer 1958, Spiecker 1991, Kerr 1996, Jensen 2000) sowie der sozialen Stellung des Baumes im Bestand (Rohmeder 1935, Spiecker 1991, Muchin 2005, Colin et al. 2008 & 2010) gesehen. Auch Astung wird als Grund für Wasserreiserbildung benannt (Kerr & Harmer 2001). Die Forschungsergebnisse zur Wasserreiserbildung sind insgesamt als sehr uneinheitlich zu werten. Mitunter kommen die Studien zu gegenteiligen Ergebnissen, wie beispielsweise Wignal & Browning (1988), die explizit keinen Effekt der waldbaulichen Behandlung auf das Auftreten von Wasserreisern nachweisen. Neben den bereits genannten Einflussfaktoren wurden auch Stoffwechselfvorgänge im Baum (Morisset et al. 2012), Temperaturen auf der Borke der Eichen (Wignal & Browning 1988) sowie die Verteilung von Wasserreiseranlagen entlang der Stammachse (Fontaine et al. 2004) als Ursachen für Wasserreiserbildung untersucht. Muchin (2005) wies einen statistischen Zusammenhang von steigender Standortgüte und erhöhtem Wasserreiserbesatz an Stieleichen nach.

Die vorliegende Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die waldbauliche Behandlung bei den wertgebenden Stammabschnitten, nämlich der Erst- und Zweitlänge bis 10 m Höhe (Boniturbereich), keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von Wasserreisern hatte und deckt sich somit mit den Ergebnissen von Wignal et al. (1987), Wignal & Browning (1988), Utschig et al. (1993) sowie Kerr (1996). Dieses Ergebnis widerspricht damit Preuhsler et al. (1993), Pretzsch & Utschig (1995) sowie Nagel (2007), die bei hochdurchforsteten Traubeneichen vermehrte Wasserreiserbildung konstatierten. Wird allerdings der Wasserreiserbesatz oberhalb von 10 m Höhe differenziert betrachtet, ändert sich dieser

Umstand. Diese Höhe entspricht im Traubeneichenpflegeversuch im Wesentlichen bereits dem Kronenraum der Traubeneichen. Hier konnte signifikant nachgewiesen werden, dass mit zunehmender Lenkung von Ressourcen auf den Baum, der Besatz mit Wasserreisern abnimmt. Einklemmte Traubeneichenkronen in den Kontrollvarianten zeigten fast um ein Fünftel mehr Wasserreiserbesatz als positiv geförderte Traubeneichen. Ein indirekt-proportionaler Gradient des Auftretens von Wasserreisern und der Intensität der Einzelbaumförderung wurde festgestellt. Aufgrund des flächig vorhandenen Buchennebenbestandes ist es jedoch auch erforderlich, die erzielten Ergebnisse in diesem Kontext zu beleuchten. Fabricius (1932), Krahl-Urban (1959) sowie Spiecker (1991) betonen die unmittelbar positive Wirkung eines Nebenbestandes auf die verminderte Auftretenswahrscheinlichkeit von Wasserreisern. Dieser bewirkt durch Beschattung das Absterben der Wasserreiser nach ihrem Austrieb und fördert somit die Qualitätsentwicklung der Eichenstämme (vgl. insbesondere Spiecker 1991). Junod et al. (2001) bezifferten den Mehrwert dienender Tannen an Eichen im Schweizer Jura auf über 120 Schweizer Franken pro Festmeter Eichenholz aufgrund der erzieherischen Wirkung des Nebenbestandes.

Während sich die Wirkung der waldbaulichen Behandlung unmittelbar beurteilen lässt, ist das in der vorliegenden Studie erzielte Ergebnis, wonach auf Muschelkalk 3,8 Mal häufiger mehr als ein Wasserreiser pro Laufmeter bei Traubeneichen auftritt als auf Buntsandstein, schwerer zu interpretieren. Jensen (2000) beschreibt unterschiedliches Auftreten von Wasserreisern entlang von Wuchsgradienten, macht aber bezüglich der Basensättigung des Bodens keine genauen Angaben. Der Effekt der standörtlichen Clusterung im Auftreten des Wasserreiserbesatzes im Traubeneichenpflegeversuch ist beschreibbar und signifikant, doch bleibt offen, ob es sich tatsächlich um einen Standorteinfluss handelt. Der ermittelte Einfluss könnte auch stellvertretend für einen nicht definierten Parameter (Dummy) oder einen Faktorenverbund stehen. Vorstellbar erscheinen hier beispielsweise genetische Aspekte unterschiedlicher Eichenprovenienzen.

Wesentliches Ergebnis vorliegender Studie bezüglich der Wasserreiserbildung ist jedoch, dass auch die starke positive Förderung mit Durchbrechung des Bestandesschlusses nicht zu verstärkter Wasserreiserbildung führte. Somit ist auch bei starken Durchforstungseingriffen kein negativer Effekt durch erhöhte Wasserreiserbildung zu erwarten, sofern dienender Bestand vorhanden ist. Vielmehr führt aber unterlassene Konkurrenzsteuerung bei Traubeneichen zum Auftreten von Wasserreisern im Kronenraum.

### **Verzwieselungen**

Das Auftreten von Verzwieselung stellt aus forstlicher Sicht eine ambivalent zu beurteilende Wuchsform bei Bäumen dar. Zum einen werden in der Auswahl von Auslese- oder Z-Bäumen in der Regel wipfelschäftige Bäume bevorzugt und Zwiesel bewusst nicht gefördert

beziehungsweise entnommen (Gockel 1994, Leder 1996, Dong et al. 1998). Eine gerade Stammachse ohne Verzweiselung erlaubt eine bessere Ausbeute beim Einschnitt im Sägwerk. Darüber hinaus besteht bei Verzweiselung die Gefahr des Zerreißens des Stammes bei Unwetter, Eisanhang und Schnee sowie beim Einschlag. Auf der anderen Seite zeigen Zwiesel häufig ein erhöhtes und raumgreifenderes Kronenvolumen und damit einen besseren Zuwachs als wipfelschäftige Bäume (Colin et al. 2010, Wilhelm & Rieger 2013). Je nach waldbaulicher Zielsetzung ist die angestrebte Jahrringbreite ein Ausdruck unterschiedlicher Wachstumsgeschwindigkeit, die direkt mit der Kronengröße und der Wipfelschäftigkeit zusammenhängt. Nach dieser Zielsetzung ist Wipfelschäftigkeit ambivalent zu beurteilen.

Bisher gibt es nur wenige quantitative Untersuchungen zur Verzweiselung von Eichen (vgl. Leder & Hillebrand 2001). Colin et al. (2012) untersuchten in 23-jährigen Traubeneichenbeständen den Zusammenhang zwischen Auftreten von Zwieseln und der Begründungsdichte. In dichter begründeten Beständen mit mehr als 2.600 Eichen pro Hektar sank der Anteil gezwieselter Bäume signifikant. Dieser Qualitätseffekt wurde allgemein auch von Gockel (1995) sowie Saha et al. (2012) konstatiert. Auch Schaper (1978), Guericke (1996), Leder (2007) sowie Guericke et al. (2008) beobachteten mit steigender Baumzahl pro Hektar in jungen Eichenbeständen ein Sinken des Anteils gezwieselter Eichen und eine Verlagerung der Ansatzhöhe der Zwiesel nach oben (Schmaltz et al. 1997). Dem gegenüber steht allerdings der Effekt, dass es bei Eichen bei übermäßigem Konkurrenzdruck häufig zu Ausfällen und Verkümmierungen kommt (Dong 1997, Nüßlein & Lamatsch 1998, Ammer et al. 2005). Spellmann & Baderschneider (1988) konnten keine Zusammenhänge von Begründungsdichte und dem Auftreten von Zwieseln feststellen.

Röhrig & Schaper (1983) berichten über niedersächsische Jungeichenbestände, in denen sich durch Dichtstand ein hoher Anteil der (Trauben-)eichen von Zwieseln und Steillästen reinigte und darum in den Altbeständen kaum Eichen mit Zwieseln zu erwarten sind. Analoge Effekte konnten auch Leder (1996) sowie Dong et al. (2007) feststellen. Ebenso berichten Leibundgut (1966) sowie Mosandl et al. (1991) von diesem Effekt in jungen Traubeneichenbeständen.

Nach über 20 Jahren Versuchsfortführung lässt sich auf Basis der erfolgten Aufnahmen folgendes differenzierteres Bild für den Traubeneichenpflegeversuch zeichnen: Fielen im Jahr 1991 20% der Ausleseebäume in die Kategorie „Zwiesel“, so sind es in der Aufnahmeperiode der Jahre 2012/13 im Schnitt 30% der Z-Stämme. Über die Zeit erhöht sich demnach der Anteil der zwieseligen Bäume, wenngleich er im Dickungsstadium fällt. Zu gleichem Ergebnis kommen auch Colin et al. (2010). Demnach kann die Aussage von Mosandl et al. (1991) unterstrichen werden, dass sich in jugendlichen Traubeneichenbeständen kaum abschließende Aussagen über die Wuchsform im fortgeschrittenen Alter treffen lassen. Dies spricht auch dafür, die Vitalität stärker in den Fokus zu nehmen als die alleinige

Qualitätsansprache. Als extreme Position diesbezüglich sind die Ergebnisse von Krapfenbauer & Hochbichler (1984), Hochbichler et al. (1990) sowie Hochbichler (1993) zu benennen, die ihr Konzept auf frühzeitigste Auswahl der doppelten Z-Stammanzahl (maximal 240 Stück pro Hektar) und Astung sowie Formschnitt abstellen.

In vorliegender Studie zeigte sich die Wirkung der waldbaulichen Behandlung auf das Auftreten bzw. das Zulassen von Zwieseln sehr unterschiedlich. In den Negativauslesen waren signifikant weniger Zwiesel (20,7%) anzutreffen als in den anderen Behandlungsvarianten. Dort, wo die Bäume waldbaulich unbeeinflusst blieben (Kontrollvariante), war der Anteil gezwieselter Stämme mit 41,5% am höchsten. Einen ähnlich hohen Anteil erreichte die starke positive Förderung mit knapp 33%. Dies ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass hier die vitalen, großkronigen Bäume gefördert wurden. Diese konnten ihre Kronen ausbauen und sich ebenso wie in den waldbaulich unbeeinflussten Eichenbeständen zu supervitalen Bäumen mit großen Kronen entwickeln. In den Flächen mit Negativauslese sind die Kronen der Stämme in diesem Pflegeregime weniger häufiger verzwieselt, aber auch weniger voluminös.

Neben der waldbaulichen Behandlung konnte der Standort als signifikanter Einflussfaktor auf das Auftreten von Zwieseln identifiziert werden. Auf Buntsandstein besteht eine 1,6-fach höhere Wahrscheinlichkeit als auf Muschelkalk, auf einen Z-Stamm zu treffen, der zwieselt. Eine direkte ursächliche Kopplung der Variablen Zwieseligkeit und Standort erscheint aber zweifelhaft. In der Interpretation dieses Ergebnisses scheint vielmehr ein Einfluss der Provenienz wahrscheinlich (vgl. Deans & Harvey 1995, Ducouso et al. 1996), da das Verzweigungsmuster von Eichen in hohem Maße genetisch determiniert ist (Cieslar 1923, Kleinschmit & Svolba 1979, Kleinschmit 1993, Savill & Kanowski 1993). Demnach wären Eichen der Herkunft „Fränkische Platte“ den Spessartherkünften in diesem Aspekt überlegen, wenn man die Eichen nach klassischen Maßstäben bewertet und hinsichtlich der Wuchsform Wipfelschäftigkeit anstrebt.

### **Krümmungen**

Krümmungen in der Stammachse gelten als schwerwiegende Holzfehler (Heckel 1977, Polge 1984), da sie die Verwendbarkeit in modern-industrialisierter Holzverwendung stark einschränken. Waren gekrümmte Eichenstämme in vorindustrieller Zeit begehrtes Handelsobjekt (z.B. zum Bau von Schiffsbugen), so werden heute massive Abschläge auf gekrümmtes Holz gelegt. In jungen Eichenbeständen werden Krümmungen als schwerwiegende Fehler beurteilt (Cieslar 1923, Schaper 1978, Savil & Kanowski 1993). In modernen Waldbauverfahren besteht aus diesem Grund der Anspruch, den Anteil gekrümmter Eichen gering zu halten. Das waldbauliche Produktionsziel ist in der Regel ein gerader, wipfelschäftiger Stamm.



Als Ursachen für Schaftkrümmungen bei Eichen werden genetische Aspekte (Cieslar 1923, Savill & Spilsbury 1991, Felton & Thompson 2008), jugendlicher übermäßiger oder ungenügender Dichtstand (Leibundgut 1976, Röhle 1982, Savill & Spilsbury 1991, Nörr & Mößmer 2004, Malinauskas 2007, Dong et al. 2007, Guericke et al. 2008) sowie Übershirmung durch Altbestand (Skrzyszewski & Pach 2015) angeführt. Generelle Aussagen zur „Förmigkeit“ von Eichen werden in der Literatur zur Eichenpflege vom überwiegenden Anteil der Autoren getroffen. Explizite Messungen und metrische Beurteilungen finden in den meisten Fällen jedoch nicht statt. In der vorliegenden Untersuchung wurde aufgrund des sehr geringen Datensatzes auf eine Auswertung metrischer Daten zu Krümmungshöhe und –weite verzichtet. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass lediglich 2,3 % der Traubeneichen-Z-Stämme gekrümmt waren und dem idealen Wuchstypus eines Z-Stammes nicht entsprachen. Die Überprüfung des waldbaulichen Einflusses auf die Krümmungen der Traubeneichen war aufgrund der statistischen Modellprämissen nur eingeschränkt möglich, zeigte jedoch keinen signifikanten Einfluss. Aufgrund der eingeschränkten Modellprämissen wurde ein verschärfter Maßstab an die Ergebnisprüfung angelegt. Der geringe Anteil gekrümmter Eichen kann wohl darin begründet werden, dass die jungen Eichenbestände nach Räumung und ohne Übershirmung erwachsen (vgl. Skrzyszewski & Pach 2015). Im Gegensatz zu Malinauskas (2007), der mit zunehmender Begründungsdichte erhöhte Krümmungsanteile in Stieleichenbeständen feststellte (vgl. dazu Leibundgut (1976)), konnte kein erhöhter Anteil gekrümmter Traubeneichen in den sehr dicht begründeten Saatbeständen gefunden werden (vgl. auch Spellmann & Baderschneider 1988, Schmaltz et al. 1997). Zu diesem Ergebnis kommt auch v. Lüpke (1991). Auf Basis der Ergebnisse vorliegender Studie führen enge Leitersaaten mit mehr als 10.000 Eichen pro Hektar nicht zu unförmigen Traubeneichen. Analog zu Leder (1996) sowie Malinauskas (2007) gilt es festzuhalten, dass sich mit zunehmender Baumdimension die Krümmungen verwachsen und sich die Eichen im Laufe ihres Bestandeslebens „geradeziehen“ (Fischer 1945, Krahl-Urban 1959). Aus diesem Grund ist auch von verfrühten Negativauslesen abzuraten (Küster 2000, Mosandl & Paulus 2002) und den Eichenbeständen die Möglichkeit einzuräumen aus dem „Rotzbubenalter der Eiche“ (Mosandl & Paulus 2002) herauszuwachsen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass auch im Alter von etwa 35-40 Jahren eine sichere Z-Baumauswahl aus einem weiten Spektrum von Optionen möglich ist.

### **Indexierte Qualität**

Junge Eichen werden in der wissenschaftlichen Literatur häufig hinsichtlich ihres Wachstums und ihrer Qualitätsentwicklung bewertet. Dies erfolgt jedoch in der Regel nicht als indexierter Qualität in Form summarischer Verknüpfung von Formvariablen. Vielmehr werden die Eichen nach singulären Qualitätskriterien geprüft und diese unvermengt analysiert, ohne eine

kriterienscharfe Trennung zu vollziehen (vgl. Spiecker 1991, El Kateb et al. 2006, Dong et al. 2007). Klassische Beispiele hierbei sind die Fokussierung auf die Kronenansatzhöhe, wobei die Totastzone als qualitätsmindernde Größe außer Betracht bleibt oder auch die singuläre Beurteilung von Wuchsform und Astwinkeln.

Im Bewusstsein dieser Unschärfen wurden in der vorliegenden Untersuchung alle Eichen-Z-Stämme hinsichtlich ihrer summarischen Qualität indexiert beurteilt (vgl. Dohrenbusch 1982, Börner et al. 2003, Saha et al. 2012). Die Beurteilung erfolgte dabei sehr streng dichotom – entweder fiel eine junge Traubeneiche in die Kategorie „gänzlich fehlerfrei“ oder nicht. Die Art des Fehlers war (Krümmung, Wasserreiser, Beulen, Totäste, Verzweiselung etc.) dabei unerheblich. Die Bewertung der indexierten Qualität erfolgte für das astfreie Stammstück, da hier der hauptsächliche monetäre Wert akkumuliert ist. In Anlehnung an Schulz (1961) wurden Fehler oberhalb der Wertholzzone bedenkenlos akzeptiert und nicht fokussiert.

Die statistische Auswertung der indexierten Qualität nach waldbaulicher Behandlung und Standorteinfluss fiel heterogen aus und muss vorsichtig interpretiert werden, da die Ergebnisse teilweise statistisch aufgrund von Verletzungen der Teststatistiken und ihrer Prämissen nicht abgesichert werden konnten. Generell konnte festgestellt werden, dass auf Muschelkalk die indexierten Qualitäten der jungen Traubeneichen besser ausfielen als auf Buntsandstein. Dieses Ergebnis deckt sich mit Schneble (1971), der auf Muschelkalk ebenfalls überdurchschnittliche Qualitäten feststellte. Dieser Befund könnte unter anderem auch auf den intensiven Nebenbestand zurückgeführt werden. Dieses Ergebnis widerspricht allerdings den Beobachtungen von Loginov (2012), welcher einen negativen Einfluss von Buchenbegleitwuchs auf die Qualitätsentwicklung der Stieleiche herausarbeitete – ganz im Gegensatz zu den Autoren, die Nebenbestand aus Buche maßgeblich für positive Qualitätsentwicklung betrachten (Rebel 1922, Krahl-Urban 1959, Röhrig & Schaper 1983, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991 sowie Junod et al. 2001). In der Interpretation des Standorteinflusses muss beachtet werden, dass der Einfluss des Standorts einen Proxy darstellt und wahrscheinlich Effekte der Provenienzen durchschlagen (vgl. Cieslar 1923, Kleinschmit & Svolba 1979, Kleinschmit 1993, Savill & Kanowski 1993, Deans & Harvey 1995, Ducouso et al. 1996).

Die Art der waldbaulichen Behandlung fiel in der hier beleuchteten Studie uneinheitlich hinsichtlich ihrer Wirkung auf die indexierte Qualität aus. Auf Buntsandstein war kein gerichteter signifikanter Effekt der waldbaulichen Behandlung erkennbar. Auf Muschelkalk hingegen konnte die Art der waldbaulichen Behandlung als signifikante Variable identifiziert werden. Hierbei wurden je nach Alter der Bestände uneinheitliche Wirkungsmuster festgestellt. In den jungen Beständen führten die klassischen Negativauslesen erwartungsgemäß zu erhöhten Qualitäten und damit zu konträren Ergebnissen im Vergleich zu Sachsse &

Grünebaum (1990), die in weit begründeten Beständen<sup>8</sup> eine ebenso gute Qualitätsentwicklung dokumentierten wie in eng begründeten. Saha et al. (2012) sehen hingegen Vorteile der klassischen engen Begründung im Zuge der Leitersaat gegenüber Pflanzungen in Truppform oder gar in Klumpen. Dass das Ergebnis nach waldbaulicher Behandlung in sich uneinheitlich ausfiel zeigt sich daran, dass in der älteren Eichenaltersklasse die schwachen positiven Förderungen hinsichtlich der indexierten Qualitätsentwicklung besser ausfielen als die Negativauslesen. Dieses Ergebnis steht also in Widerspruch zu den Befunden der jüngeren Altersklasse und veranschaulicht, dass eine eindeutige Beurteilung der Art der waldbaulichen Behandlung nicht erfolgen kann. Auffällig ist allerdings, dass die Eichen, in den Kontrollflächen, unabhängig von der Altersklasse, hinsichtlich ihrer Qualitätsentwicklung nicht überzeugen konnten. Dieser Befund gibt eindeutige Hinweise darauf, dass aussetzender Betrieb in Eichenbeständen nicht zielführend im Hinblick auf eine gesteuerte, hohe Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen ist.

### **Kraft'sche Klasse der Eichen Z-Stämme**

Die Kraft'sche Klasse der jungen Traubeneichen (vgl. Kraft 1884) wurde in dieser Arbeit unter zwei Gesichtspunkten erhoben. Zum einen wurde sie als Kontrollindikator der Versuchsentention begriffen, wonach nur dominante, möglichst vorherrschende Bäume als Z-Stämme gewählt werden sollten. Zum anderen wurden aus der Kraft'schen Klasse Hinweise auf die Konkurrenzsituationen der jungen Traubeneichen entnommen und diese Konkurrenzsituation differenziert nach waldbaulicher Behandlung und Standort betrachtet.

Der Versuchsentention folgend konnte gezeigt werden, dass bevorzugt dominante Bäume der Kraft'schen Klasse 1 als Z-Stämme gewählt und gefördert wurden (vgl. Bréda et al. 1995). Dies gilt jedoch nur eingeschränkt für die positiven Förderungen. In den Negativauslesen stehen die „Z-Stämme“, die es in diesem Waldbausystem systembedingt eigentlich nicht gibt, tendenziell co-dominant in einer Matrix aus mitherrschenden Bäumen. Dies spiegelt die Konkurrenzsituation dieser Bäume wider, die niemals nach diesem Aspekt begünstigt und in homogenisierenden Eingriffen lediglich nach Güte ausgelesen wurden. Auf den Kontrollflächen im Buntsandstein zeigte sich, dass nur vitalste Bäume als Z-Stämme ausgewählt wurden.

Verschiebungen in der Auswahl nach Vitalität sind insbesondere auf Muschelkalk und mit zunehmendem Alter festzustellen. Die Kombination von basenreichem Substrat und ansteigendem Alter ließ den Anteil der vorherrschenden und herrschenden jungen Traubeneichen gegenüber den Mitherrschenden deutlich absinken. Dieser Effekt verdeutlicht, dass die Eichen auf den Versuchsflächen in einer Matrix wuchskräftiger Buchen stehen und die Baumart Eiche auf dem untersuchten Standort nicht dominant ist. Absolut betrachtet sind

---

<sup>8</sup>In diesem Vergleich wird Begründungsdichte und Dichteentwicklung nach Durchforstungsregime gleichgesetzt

hochvitale Traubeneichen auf Muschelkalk höchstens mitherrschend im Vergleich zur Buche. Im folgenden Unterkapitel „Eichenanteile und –ausfallraten“ wird dies weiter ausgeführt.

### **Eichenanteile und –ausfallraten**

Der Traubeneichenpflegeversuch zeigt eindrucksvoll die hohe Dynamik und Mortalität in jungen Eichenbeständen. Die Abnahme der Stammzahlen seit dem Jahr 1985 verdeutlicht, wie stark durch natürliche Mortalität und Pflegeeingriffe die Stammzahl über die Zeit abnimmt und wie dynamisch die Entwicklung in jungen Eichenbeständen verläuft (vgl. Spellmann & Baderschneider 1988, Klädtke 1990, Spellmann & v. Diest 1990, Guericke et al. 2008, Petersen et al. 2009, Saha et al. 2012). Diese Erkenntnis ist angesichts einer häufig angenommenen, langsamen und trägen Entwicklung und Reaktion der Eiche in fortgeschrittenem Alter (vgl. Pretzsch & Utschig 1995) bedeutend. Darüber hinaus lassen sich aus diesem Versuch dezidierte Rückschlüsse hinsichtlich der Verschiebung der Baumartenanteile ziehen.

In diesem Kontext ist zu berücksichtigen, dass die Erziehung von Eichenhauptstämmern, die von unterständigen Buchen umgeben sind, ein vollkommen gegen die Natur laufendes waldbauliches Verfahren ist. Die Buche ist auf den in der vorliegenden Studie beschriebenen Standorteinheiten die Klimaxbaumart (Walentowski et al. 2006), die Eiche als langlebige Pionierbaumart maximal eine co-dominante Mischbaumart. In dem eingangs erwähnten waldbaulichen Verfahren fungiert somit die höchst schattentolerante Klimaxbaumart als Nebenbestandsbaumart unter einer subdominanten Lichtbaumart. Dieser zutiefst künstliche Zustand kann nur über eine intensive waldbauliche Steuerung erhalten werden. Unter diese waldbauliche Steuerung fällt unter anderem der wiederholte und stetige Aushieb durchstechender Buche (Vanselow 1960, Fleder 1981). Unterbleibt dieser Aushieb, so führt dies zu einer starken Konkurrenz mit der Eiche im Kronenbereich (Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013) wodurch das Wachstum der Eiche negativ beeinflusst wird. Dieser Effekt tritt ebenfalls auf, wenn die Eichen von den Buchen überwachsen werden. Wobei es hier, insbesondere bei jungen Eichen aufgrund des Schattenwurfs durch die Buchen, sogar zu einem Ausfall der Eichenbestockung kommen kann (Ziegenhagen & Kausch 1995, Weinreich 2000, Storch 2011).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen für die Nullflächen deutlich, dass Traubeneichen sehr schnell zugunsten der Buche ausfallen können (vgl. Schütz 2001). In dem Zusammenhang ließ sich ein eindeutiger Standorteffekt nachweisen. Auf Muschelkalkstandorten fielen die Eichen innerhalb kürzester Zeit aus, wohingegen auf Buntsandstein, zumindest in älteren Entwicklungsstadien, die Ausfallgeschwindigkeit weitaus geringer war. Der Eichenanteil fiel auf den Muschelkalkstandorten innerhalb von 29 Jahren Versuchszeit im Herrschenden (führende Kronenschicht) von 100% auf lediglich 4% ab. Dieser Effekt war im ehemaligen

Stangenholz am stärksten ausgeprägt, aber auch in der ehemaligen Dichtung fiel der Anteil in der gleichen Zeit von 100% auf 25%. Extrapoliert man diesen Eichenausfall auf ungepflegten Muschelkalkflächen in die Zukunft, dann verschwindet der Eichenanteil fast vollständig, Dies erklärt auch, warum ein weitgehend ungepflegtes Eichenbaumholz auf Muschelkalk als Pendant zum Baumholz „Stinkgräben“ auf Buntsandstein im Jahr 1984 bei Versuchsanlage nicht gefunden werden konnte (Sliwa 1986). Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie konnte es so einen Traubeneichenbestand gar nicht geben.

Ähnlich wie in der vorliegenden Studie haben auch Otto et al. (2009) eine Einschränkung des Eichenwachstums zu Gunsten der Buche festgestellt, und zwar umso mehr je basenreicher der Standort ist. Dabei ist die Einschränkung des Wachstums vor allem am reduzierten Höhenwachstum abzulesen (vgl. Hein & Dhôte 2006). Es fallen demnach immer mehr Eichen aus der Oberschicht (nach Kraft'scher Klasse vorherrschend und herrschend) in die Mittelschicht und überlassen das Feld der Buche. Ein vollständiger Ausfall der Eiche kann auf Basis der Versuchsdaten nicht prognostiziert werden, er ist aber, insbesondere auf Muschelkalk, sehr wahrscheinlich.

Die Beschreibung der Ausfallraten und –geschwindigkeiten in jungen Eichenbeständen erfolgte in der vorliegenden Studie mittels linearer Extrapolation der Versuchsdaten, da die Übernahme von Überlebenswahrscheinlichkeiten von vergleichbaren Versuchsanlagen nicht möglich war. Hierzu wurde die Reihe vom beginnenden, 100%-igem Eichenanteil und dem Anteil nach 29 Jahren Versuchslaufzeit fortgeschrieben. Hierbei stellte sich das Problem, dass Ausfallraten in der Regel nicht linear verlaufen (vgl. Beinhofer 2009, Höllerl 2009). Da für die vorliegende Studie nur Eichenteile für zwei Zeitpunkte bekannt waren, war eine nichtlineare Berechnung der Ausfallraten allerdings nicht möglich. Als Behelf wurde aus diesem Grund linear gerechnet. Diese methodische Einschränkung relativiert die gewonnenen Ergebnisse allerdings nicht, da mit fortschreitender Zeit bei einer gekrümmten Ausfallkurve der Ausfall schneller erfolgt als auf einer Geraden. Demnach werden die Eichenanteile in kurzfristiger Sicht unterschätzt, langfristig aber überschätzt. Die errechneten und dargestellten Zeiträume, in denen der Eichenanteil auf null sinkt, sind also eher konservativ geschätzt und als lang andauernd zu bezeichnen. Für Muschelkalkstandorte konnte so gezeigt werden, dass etwa 30 Jahre nach einer Stilllegung der Eichenanteil im Herrschenden auf null sinken kann. Auf Buntsandstein dauert dieser Prozess länger, ist aber in jungen Beständen dynamischer als in alten und mit errechneten 117 Jahren im Maßstab von Eichenbewirtschaftung als mittelfristig zu bezeichnen. Unabhängig davon ist festzustellen, dass ohne menschliche Hilfe die Eiche in der beschriebenen Standortausprägung als dominante Baumart ganz ausfällt und dass dieser Prozess auf Muschelkalk sehr schnell und fortwährend verläuft. So nimmt der Eichenanteil über das Bestandesalter kontinuierlich ab und stagniert nicht ab einem gewissen Zeitpunkt. Aber auch auf Buntsandstein ist dieser Prozess feststellbar. Hier jedoch unterscheiden sich

Eiche und Buche hinsichtlich ihrer Vitalität nicht so stark, so dass der beschriebene Verdrängungsprozess nur in geringerem Maße als auf Muschelkalk stattfindet. Auf Buntsandstein ist es vielmehr so, dass eine Stilllegung in jungen Altern größere Auswirkungen hat als in älteren Altern, in denen sich die Eichen bereits fest etabliert haben und die Buchen in ihrem Wachstum den Kulminationspunkt überschritten haben.

Aus den Erkenntnissen zum Eichenausfall kann geschlussfolgert werden, dass das Waldbausystem der Negativauslese mit verhaltenen bzw. unterlassenen Eingriffen in der Jugend analog zu den Spessartrechten (vgl. Vanselow 1960) auf Muschelkalkstandorten nicht so erfolgreich ist wie auf Buntsandsteinstandorten. Vielleicht gibt es darum auf der Mainfränkischen Platte auch diese Tradition nicht.

#### **4.4.3.3 Synopse realer und simulierter Ergebnisse**

Im Traubeneichenpflegeversuch wird die grundsätzliche Frage untersucht, ob durch gezielte Ressourcenlenkung das Wachstum junger Traubeneichen gesteigert werden kann und welche Auswirkungen diese Lenkung auf die Qualitätsentwicklung der Eichen hat. Im vorangegangenen Kapitel 4.4.3.2 wurden die Wachstums- und Qualitätsparameter der jungen Eichen bewertet und in einem ersten Schritt hinsichtlich der Qualität als Index summarisch betrachtet. Im nun folgenden Kapitel soll eine Zusammenführung der wachstumskundlichen und qualitativen Befunde erfolgen.

Die real vorhandenen Bäume zeigten ein differenziertes Bild bezüglich Qualitätsentwicklung und Wachstum: Unabhängig von der waldbaulichen Behandlung entwickelten sich alle Qualitätsparameter der jungen Traubeneichen ausgenommen positiv. In jedem waldbaulichen Pflegeregime konnten hervorragende Qualitäten erzogen werden und die Produktion von Wertholz ist nicht in Frage gestellt (vgl. Küster 2000). Die Zusammenführung der einzelnen Qualitätsparameter als auch der indexierten Qualität zeigt, dass die waldbauliche Behandlung zwar Auswirkungen hatte, diese aber in einer Form wirkte, die die Wertholzerzeugung nicht in Frage stellte. Dies gilt einschränkend vollumfänglich nur für aktiv behandelte Versuchspartellen. In den Kontrollpartellen ohne Behandlung führten die Eichenausfälle zu einer Bestandessituation, die Eichenwertholzproduktion unmöglich macht beziehungsweise sie nach derzeitigem Stand des Wissens intensiv in Frage stellt.

Ein Effekt der waldbaulichen Behandlung auf das BHD-Wachstum war an den noch stockenden Bäumen nicht feststellbar. Die erfolgten Simulationen zum BHD-Wachstum zeigten eindeutig, dass in der „mäßigen positiven Pflege“ ein signifikant besseres BHD-Wachstum zu erreichen gewesen wäre, wenn im Versuchsverlauf konsequent die vitalsten Stämme gefördert worden wären. Auf Basis dieser Ergebnisse ist eine positive Förderung nach dem hier beschriebenen Pflegemuster zu empfehlen. Mit diesem waldbaulichen

Verfahren lassen sich hervorragende Qualität mit schnellem Wachstum vereinen, wodurch sich gegenüber der klassischen Negativauslese Vorteile ergeben.

Es ist aber zu hinterfragen, in wie weit das schnelle Wachstum, das vorwüchsige Bäume im Jahr 1998 zeigten, mit der heutigen hervorragenden Qualitätsentwicklung einhergegangen wäre. Theoretisch wäre es möglich, dass vitale, aber qualitativ unzureichende Bäume im Jahr 1998 entnommen wurden, so dass die in dieser Arbeit vorgenommene Kopplung realer Qualitätsmerkmale mit hypothetischem Wachstum nicht statthaft wäre. Demnach gäbe es in Wahrheit gar keinen Zuwachsverlust an den Z-Stämmen zu verzeichnen, denn die wüchsigen Bäume wären qualitativ unzureichend und folglich zu Recht entnommen worden. Die Schnittmenge der Bäume beider Betrachtungskollektive von realen Bäumen mit realen Merkmalsausprägungen und simulierten Bäumen, die im Jahr 1998 entnommen wurden, ist nicht definiert und damit hypothetisch leer.

Darum wurde diese Menge gebildet und abgeprüft, inwieweit sich reale und simulierte Bäume hinsichtlich der Merkmalsausprägungen überschneiden. In Summe sind dies 67 % der Bäume. Dies bedeutet, dass 67% der Stämme als reale Bäume mit theoretischem Wachstum belegt werden konnten, ihre sonstigen morphologischen Merkmale aber real abbildbar sind und damit zwei Drittel der Simulationsergebnisse direkt mit realen Merkmalsausprägungen verknüpfbar sind. Andersherum ausgedrückt wurden 33% wirklich fiktive Bäume hinsichtlich ihres BHD-Wuchses simuliert, ohne diese BHD-Zuwächse mit sonstigen realen Qualitätsmerkmalen referenzieren zu können.

Hinsichtlich statistischer Signifikanzprüfungen und Konfidenzintervalle sind 33% unreferenzierte Bäume ein unzureichender Wert, doch im Kontext einer praxisorientierten Versuchsdurchführung von über 30 Jahren mit inkonsequenten Eingriffen ein letztlich dennoch überzeugender Wert. Die Zusammenführung der simulierten und realen Entwicklungsparameter relativiert die Ergebnisse der vorliegenden Studie nicht, gebietet aber Vorsicht in einer globalen Interpretation und Zusammenführung singulärer Versuchsergebnisse. Es ist vielmehr festzustellen, dass die Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs qualitativ interpretiert werden müssen und auch in die Praxis übertragen werden können, dies aber mit Augenmaß und unter der Prämisse der letztendlich nicht vollumfassenden statistischen Abgesichertheit erfolgen kann. Diese Einschränkung muss einem klar sein und auch kommuniziert werden, wenn eine Argumentation oder Diskussion mit den hier getroffenen Versuchsergebnissen und –interpretationen erfolgt.

Ungeachtet der Herausforderungen der Versuchsdurchführung kann herausgestrichen werden, dass eine mäßige positive Förderung in der Lage ist, das BHD-Wachstum anzuregen, ohne dabei Qualitätseinbußen hinnehmen zu müssen. Dies kann uneingeschränkt so festgehalten werden und gilt insbesondere für junge Bestände, die sich in der Reaktion auf

Pflegeeingriffe plastischer zeigten als ältere. Interessant ist aber, dass im Gegensatz zur Literatur (s.o.) auch im fortgeschrittenen Alter Reaktionseffekte des BHD-Wachstums feststellbar sind, wenn auch nur auf Basis von Simulationen.

Ein wesentliches Versuchsergebnis ist, dass es nicht die intensiven positiven Förderungen mit starker Freistellung sind, die ein maximal beschleunigtes Wachsen zur Folge haben. Sie sind darum auch nicht primär zu empfehlen, da sie unter hohem (ökonomischen) Aufwand nicht den maximal erzielbaren (naturalen) Ertrag erwirtschaften. Klassische Negativauslesen zeigten eine hervorragende Qualitätsentwicklung, die zukünftige Wertholzpotentiale erwarten lässt, wie sie aus der forstlichen Praxis heraus bekannt ist. Die vorliegende Studie zeigt allerdings auch, dass dies nur unter Inkaufnahme sehr langer Produktionszeiten erfolgen kann. An dieser Stelle sei auf die forstökonomische Teilstudie der vorliegenden Arbeit verwiesen, die dies explizit herausarbeitet und die finanziellen Vor- bzw. Nachteile der jeweiligen waldbaulichen Pflegeregime darstellt.

Flächenstilllegungen in Eichenbeständen führen dazu, dass sie umso negativer auf den Eichenanteil im führenden Bestandeskollektiv wirken, je früher diese in der Bestandesentwicklung erfolgen. Auf basenreichen Standorten sind diese Effekte um ein vielfaches stärker ausgeprägt als auf basenarmen. Flächenstilllegungen junger Eichenbestände bzw. von Eichenbeständen auf basenreichen Standorten können darum nicht empfohlen werden, wenn das Ziel im Eichenerhalt besteht.



## 5 Finanzielle Studie

### 5.1 Einleitung

In der forstlichen Landnutzung bestehen auf mittleren Standorten zahlreiche Optionen der Baumartenwahl und der Bestockung (Fischer 2003). Der Anbau der Baumart Eiche ist hierbei eine Alternative unter vielen. Insbesondere in klassischer Bewirtschaftungsart wird die Baumart Eiche häufig als eine finanziell unattraktive Wahl angesehen (Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Beinhofer 2010). Mit hohen Investitionskosten, Produktionsrisiken wie Wasserreiserbildung, Schädlingsbefall und Eichensterben (Fabricius 1932, Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Gaertig et al. 2005, Beinhofer 2010) sowie sehr langen Produktionszeiträumen assoziiert, ist die Eiche keine Baumart, der ein hohes ökonomisches Leistungspotential zugeschrieben wird. Dies gilt obwohl die Erlöse für qualitativ hochwertiges Eichenstammholz vergleichsweise hoch sind. Geringe Flächenausstattungen der jüngeren Altersklassen bis Alter vierzig Jahre belegen dies eindrücklich (Hauck 2016). 82,9% des Eichenvorrats stockt in Beständen älter als 100 Jahre (Thünen-Institut 2016) und die mit Eiche bestockten Flächen in Deutschland nehmen nicht zu (Hauck 2016). Vielmehr stagniert die Flächenausstattung mit Eiche. Im Entscheidungsfall wird häufig eine Bestockung gewählt, die nicht aus führender Eiche besteht.

Die finanzielle Nachteiligkeit des Eichenanbaus gilt insbesondere, wenn man nicht im Waldreinertrag, sondern im Bodenreinertrag rechnet und hohe Kulturkosten über eine lange Umtriebszeit verzinst werden müssen (Faustmann 1849 & 1853, Bartelheimer 1991, Schmidt 2003, Beinhofer 2010). Bereits zu Beginn der forstwissenschaftlichen Forschung und Planung Anfang des 19ten Jahrhunderts wurde der Eiche finanzielle Unvorteilhaftigkeit attestiert. Ihr geringer Volumenzuwachs - und damit auch ihre geringe finanzielle Ertragsleistung - ließen sie im Vergleich zu schnell wachsendem Nadelholz an Attraktivität verlieren (Cotta 1828). Dies war selbst dann der Fall, wenn Zinseffekte nicht berücksichtigt wurden. Bereits im Jahr 1824 sah Fuchs (1824) Bedarf an einer schnelleren Erziehung von Eichenholz angesichts langer Umtriebszeiten und Holzknappheit. Geyer (1870) präziserte dies um Qualitätsaspekte, die sich insbesondere auf die Astfreiheit des Erdstammstücks bezogen.

In der mitteleuropäischen Forstwirtschaft gelten klassische Eichenkulturen als ausgesprochen teuer (Saha et al. 2012, Hauck 2016). 10.000 € pro Hektar Investitionsbedarf sind eine durchgehend in der forstlichen Praxis akzeptierte Planungsgröße für die Neuanlage und Sicherung einer Eichenkultur (Forstdirektion Unterfranken 2005). Diese Kulturkosten können sich einzelfallweise auch bis auf das dreifache belaufen, unter anderem aufgrund von Wildeinfluss (Clasen & Knoke 2009). Angesichts der hohen Begründungskosten werden seit längerem Alternativen zur Bestandesbegründung durch Saat erprobt. In Form von Gruppen- oder Nesterpflanzung (Szymanski 1986, Gockel 1995, Guericke 1996, Ruhm 1997, Leder

2007, Petersen 2007, Saha et al. 2012) sollen Eichenflächen unter Umgehung der hohen Investitionskosten etabliert werden. Die Effekte dieser Begründungsformen auf die Qualitätsentwicklung sind nicht endgültig beschrieben. Saaten scheinen aber gegenüber Pflanzungen eine höhere Schaftqualität zu gewährleisten (Saha et al. 2012). Nach wie vor sind sie die bevorzugte Begründungsart für Werteichenbestände in öffentlichen bayerischen Forstbetrieben (Ötting 2011).

Neben den hohen Investitionskosten sind die Umtriebszeiten, gerade in klassischen Betriebssystemen mit verhaltenen Eingriffen im Herrschenden, sehr langwährend und dementsprechend wirtschaftlich unattraktiv. Der bayerische Kompositionsbetrieb des 19ten Jahrhunderts verdeutlicht dies eindrucksvoll. Mit einer expliziten Umtriebszeit von 432 Jahren für die Eichenwertholzerzeugung ist es eines der längsten beschriebenen waldbaulichen Produktionsprogramme weltweit (Vanselow 1960). In der Regel werden auch heute noch in der forstlichen Praxis aufgrund später und extensiver Eingriffe selten Umtriebszeiten unter 180 Jahren erreicht (Kenk 1984, Dong et al. 2007). Selbst 250 Jahre Umtriebszeit und mehr sind nach wie vor bei der Furniereichenproduktion auftretende Realgrößen (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981, Spiecker 1983 & 1991, Burschel & Huss 2003, Forstdirektion Unterfranken 2005). Angesichts solch unüberschaubar langer und wirtschaftlich kaum rechtfertigbarer Produktionszeiten für Eichenwertholz, peilen modernere waldbauliche Ansätze erheblich kürzere Umtriebszeiten an. Analog zu den modifizierten Begründungsmethoden stehen hier Ersparnis von Verzinsungszeit und Kapital im Vordergrund. So beschreiben Lemaire (2010) und Wilhelm & Rieger (2013) explizit, dass Eichenwertholzproduktion in hundert Jahren möglich sei. Auch die vorliegende waldbauliche Studie kommt auf Basis von Wuchssimulationen zu diesem Ergebnis (siehe Tabelle 5.1 der vorliegenden Arbeit). In einem Zeitrahmen von 100 bis 120 Jahren ist ein Erreichen eines Zieldurchmessers von 70 cm realistisch möglich.

Bei so schnellem Wuchs weist der Wertholzkörper allerdings größere Jahrringbreiten auf als bei Eichenholz, das klassisch erzogen wurde. Die Breite der Jahrringe gilt jedoch als zentrales Qualitätsmerkmal hochwertigen Furnierholzes (Schulz 1955, Krahl-Urban 1959, Fleder 1981 & 1988, Polge 1984, Mosandl et al. 1991, Spiecker 1991, Göttlein 1994a, Peters & Becker 1995, v. Lüpke 1998, Metzger 1999, Dong et al. 2007, Nagel 2007). Eine Verkürzung der Umtriebszeit und das immer wieder in der forstlichen Praxis und Wissenschaft diskutierte Qualitätsmerkmal „enge Jahrringbreite“ schließen sich allerdings aus. In der Tradition klassischer Eichenwirtschaft ist die Produktion von Wertholz mit engen Jahrringen in unter 200 Jahren unmöglich. Der Einfluss der Jahrringbreite auf den erzielbaren Wertholzpreis ist aber umstritten. Statistisch belegt ist lediglich, dass die Dimension eines Eichenwertholzstücks den erzielten Preis beeinflusst, nicht aber der Jahrringaufbau (Schulz 1955, Göttlein 1994b, Metzger 1999, Diwold 2008). Moderne, auf den Z-Stamm fokussierende Waldbaukonzepte

können also auch unter dem Aspekt Jahrringbreite stark dimensioniertes Wertholz erzeugen (vgl. Ammer 2016, Möhring & v. Bodelschwingh 2016).

Unbestritten ist hingegen, dass klassische Negativauslese (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981) zuverlässig zu engen Jahrringbreiten beim Eichenwertholz führt. Bei konsequenter Umsetzung resultieren zuverlässig Bestände mit hohen Abtriebswerten von fallweise bis zu 120.000 € pro Hektar. Solche Abtriebswerte sind für den Waldreinertrag sehr hoch, im Bodenreinertrag müssen sie aber kritisch betrachtet werden. Endres 1911 (zitiert nach Bartelheimer 1991) errechnete vor über 100 Jahren zu damaligen Konditionen, trotz auch damals hoher Abtriebswerte, für Eichenbestände folgendes: Ein Zins von 3 % erforderte bei 300 jährigem Umtrieb einen Abtriebswert von 7 Millionen Mark, um einem Fichtenbestand finanziell gleichwertig gegenüber zu stehen. Betreibt man diese Rechnung mit aktuellen Zahlen, so wäre bei Kulturkosten von 10.000 € pro Hektar, einem Zinssatz von 3 % und einem 300 jährigen Umtrieb ein Abtriebswert von knapp 27 Millionen € pro Hektar nötig, um einem Fichtenbestand finanziell ebenbürtig zu sein (bei unterstelltem Abtriebswert der Fichte von 40.000 € pro Hektar und 80 jährigem Umtrieb). Die finanzmathematisch nachteilige Koppelung von hohen Investitionskosten und langen Verzinsungszeiträumen bedingt bei Beachtung von Zinseffekten und Opportunitätskosten häufig negative Bodenertragswerte von Eichenbeständen. Negative Bodenertragswerte oder daraus abgeleitete negative Annuitäten deuten auf eine nicht lohnenswerte Investition von Kapital hin (Faustmann 1849 & 1853, Knoke et al. 2012), auch speziell in Eichenbeständen (Bartelheimer 1991). Diese zwingen den Bewirtschafter letztendlich dazu, sich gegen Eichenwirtschaft zu entscheiden. Allerdings führen Fabricius (1932), Kerr (1996) sowie Bartelheimer (1991) an, dass auch mit der Baumart Eiche positive Wirtschaftsergebnisse erzielbar seien, falls von den langen Umtriebszeiten abgerückt werden könnte. In diesen Kontext müssten auch die hohen Kulturkosten gesetzt werden. Trotz der aus (zins-)wirtschaftlicher Sicht gegen die Baumart Eiche sprechenden Argumente bestehen Eichenbestände und es werden insbesondere nach Sturmwürfen (Mosandl et al. 1991) nach wie vor Eichenkulturen begründet (Kenk 1993), – wenn auch in geringem Umfang (Thünen-Institut 2016). Die Eiche profitiert auch im Zuge des durch Klimawandel bedingten Waldumbaus (Roloff & Grundmann 2008; Reif et al. 2010). Für diese bereits bestockten Flächen stellt sich die Frage, wie sie aus ökonomischer Sicht bestmöglich bewirtschaftet werden können. Sollten keine positiven Wirtschaftsergebnisse erreichbar sein, so wären sinnvoller Weise zumindest die Verluste zu minimieren, soweit ein Bestockungswechsel nicht zur Diskussion stünde.

Neuere Studien zur Rentabilität von Eichenbeständen (Kerr 1996, Schmidt 2003, Beinhofer 2010) haben jedoch gezeigt, dass bei einer Verkürzung der Umtriebszeit das Erzielen positiver Wirtschaftsergebnisse möglich scheint (vgl. Bartelheimer 1991, Kerr 1996, Schmidt 2003, Beinhofer 2010). Dass eine Verkürzung der Umtriebszeit waldbaulich möglich ist, wird unter

anderem von Kerr (1996), Wilhelm et al. (1999), Küster (2000), Mosandl & Paulus (2002), Lemaire (2010), Wilhelm & Rieger (2013) als auch der waldbaulichen Studie der vorliegenden Arbeit belegt. Eine Reduktion der Kulturkosten ist ebenfalls möglich, ohne dass damit das Ziel Wertholzproduktion gefährdet wird (Saha et al. 2012).

Die Eiche muss demnach per se keine wirtschaftlich unattraktive Baumart sein. Inwieweit sich aber Verkürzungen der Umtriebszeit mit der Produktion von Wertholz kombinieren lassen und finanziell positiv Effekte erzielt werden können, ist unzureichend geklärt.

Die vorliegende finanzielle Studie, die auf den biometrischen Daten des Traubeneichenpflegeversuchs basiert, beleuchtet die Pflegevarianten des Traubeneichenpflegeversuchs aus ökonomischer Perspektive. Sie bietet die Chance, die auf Wuchssimulationen basierenden Überlegungen von Schmidt (2003) sowie Beinhofer (2010) zur Wirtschaftlichkeit von Eichenbeständen mit realen Messdaten zu untermauern und fortzuentwickeln. Hierbei können Differenzierungen der Förderungsintensität und der Eingriffsintervalle dargestellt und miteinander verglichen werden, um zu optimalen ökonomischen Handlungsweisen in jungen Traubeneichenbeständen zu gelangen. Die finanzielle Betrachtung der Wuchs- und Durchforstungsgänge der jungen Traubeneichen erlauben zudem Aussagen zu optimalen Erntezeitpunkten, die sich von vorgegebenen Zieldurchmessern lösen können. Finanziell optimierte Umtriebszeiten lassen sich so unabhängig von den Vorgaben der (Eichen-)holzverarbeitenden Industrie herleiten (vgl. Heckel 1977) und Behandlungsmodelle können kritisch beleuchtet werden. Umtriebszeiten können auf diese Weise einer wirtschaftlich sinnvollen Bodennutzung angepasst werden. Der Traubeneichenpflegeversuch mit seinen parallel geführten Behandlungsvarianten bietet hierfür, auch im internationalen Vergleich, einmalige Voraussetzungen. Letztlich können aus den Simulationen Empfehlungen zum ökonomisch sinnvollen Handeln in jungen Eichenbeständen abgeleitet werden, die der praktischen Eichenwirtschaft in der Fläche in der Wahl der Behandlungsart und der Wahl der damit verbundenen Umtriebszeit dienlich sind.

## 5.2 Methoden

Die Analyse des Wachstums und die daraus abgeleiteten Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Durchforstungsregime in den jungen Traubeneichenbeständen konnten sich nicht nur auf real gemessene Daten stützen. Die inkonsequente Versuchsdurchführung aus dem Jahr 1998 erforderte es, dass neben den real gemessenen Daten der Z-Stämme auch simulierte Daten Eingang in die ökonomischen Analysen finden mussten. Dies gilt insbesondere für die Eichen in den positiv gepflegten Durchforstungsregimes („2“ und „3“), in denen im Jahr 1998 die gravierendsten Abweichungen von der Versuchszintention auftraten. Die Hintergründe für diesen Umstand finden sich in Kapitel 3.2., Lösungsansätze in Kapitel 4.2.4.

Die Simulation der Zuwächse von virtuellen Bäumen ermöglichte es, sich den maximalen Zuwachspotentialen der Traubeneichen zu nähern. Es konnten durch die Simulation realistischere Analysen durchgeführt werden als mit den real verbliebenen, inkonsequent gepflegten Z-Stämmen oder Wuchsdaten von solitären Eichen (vgl. Jobling & Pearce 1977, Kerr 1996, Hasenauer 1997, Uhl et al. 2006) oder pseudosolitären Mittelwaldeichen (Krisl & Müller 1989, Hochbichler 2008, Beinhofer & Knoke 2009). Dies gilt insbesondere für die Behandlungsvarianten „2“ und „3“. Die Simulationen basieren auf Daten der Durchforstung aus dem Jahr 1985 (Sliwa 1986) sowie dem Jahr 1998 (Küster 2000) und den Daten der Vollaufnahmen der Flächen aus dem Jahr 2012 in Anlehnung an die Definitionen der Deutschen Forstlichen Versuchsanstalten (Kramer & Akça, 2008). Zusätzliche Daten wurden unter Bezugnahme auf die Arbeiten von Schmidt (2003) und Beinhofer (2010) in den Analysen berücksichtigt. Die Jahrringbohrungen der Z-Stämme und das Generieren virtueller Bäume aus den Ergebnissen der Zuwachsbohrungen bildeten die Basis für die im Folgenden beschriebenen Simulationen.

### 5.2.1 Simulation des Wachstums der Einzelbestände

Im Folgenden wird dargelegt, auf welche Art und Weise die Einzelbestände in die Zukunft fortgeschrieben wurden.

#### 5.2.1.1 Grundlagen

Für die Simulationen wurde ein Zieldurchmesser von 70 cm festgesetzt (Schulz 1955, Fleder 1981, Spiecker 1983 & 1991, Kenk 1984, Forstdirektion Unterfranken 2005, Röhrig et al. 2006, Möhring & v. Bodelschwingh 2016), bei dem im Kahlschlag alle Bäume in einem Zug geerntet werden. Methodisch bedingt erreichten alle Bäume durch die arithmetische Mittelung ihrer BHDs zum Beginn der Simulation zeitgleich den Zieldurchmesser. Überlegungen zur Naturverjüngung durch Schirmschlag und somit gestreckten Nutzung wurden in den ökonomischen Simulationen im Gegensatz zur forstlichen Praxis nicht berücksichtigt. Damit die Stilllegungsflächen in die wirtschaftlichen Analysen einbezogen werden konnten, wurden

auch die stillgelegten Bestände am Ende ihrer Umtriebszeit flächig eingeschlagen und sortiert. Aspekte des Naturschutzes und Nutzungsverzichts (z.B. Flächenprämien und Kompensationszahlungen) wurden in den hier vorgenommenen Analysen konsequent ausgeblendet (vgl. Knoke et al. 2012).

Die Umtriebszeit für das Erreichen des Zieldurchmessers errechnete sich aus den gemessenen Jahrringbreiten in den Jahrringanalysen (vgl. Kapitel 4.2.4) in zweierlei Szenarien. Zum einen wurde mit behandlungsweise gemessenen arithmetisch gemittelten Jahrringbreiten gerechnet („average<sub>Tree</sub> growth“-Szenario), zum anderen mit den auf den Versuchsflächen maximal gemessenen Jahrringbreiten simuliert („best<sub>Tree</sub> growth“-Szenario). Über die gesamte Umtriebszeit wurden die durch die Jahrringanalysen festgestellten Jahrringbreiten konstant gehalten – eine altersabhängige Zuwachsdegression bei den Z-Stämmen wurde nicht unterstellt. Beim „best<sub>Tree</sub> growth“-Szenario war das Ausloten von maximalen Zuwachspotentialen das Ziel. Mittels der errechneten Umtriebszeiten konnte der Wachstumsgang der Bestände jahresscharf dargestellt werden (methodisch wurden alle Jahresangaben auf volle Jahre aufgerundet). Tabelle 5.1 zeigt die unterstellten Umtriebszeiten der Z-Stämme in den jeweiligen Wuchsszenarien als auch die unterschiedlichen Startwerte der BHDs zu Simulationsbeginn bei einer konstanten Anzahl von 100 Z-Stämmen pro Hektar (vgl. Kapitel 4.2.4).

Durch die gegebene Umtriebszeit (errechnet aus BHD bei Simulationsbeginn, Jahrringbreite und Zieldurchmesser) war zur Abbildung der Volumenleistung die Festlegung eines dGZ<sub>100</sub> respektive jahresscharf eines IGZ erforderlich. Dieser wurde mit 10 m<sup>3</sup>/ha\*a im Jahr 1 der Simulation festgesetzt. Er liegt somit zwischen den Angaben von Jüttner (1955) mit 6,7 m<sup>3</sup>/ha\*a für Ertragsklasse I und knapp 15 m<sup>3</sup>/ha\*a bei Pretzsch et al. (2013) und stellt einen Ausgleich zwischen den genannten Extremwerten für Eichenbestände erster Bonität und dem dGZ<sub>100</sub>-Verlauf dar. Die geleisteten Zuwächse auf Bestandesebene wurden zur Errechnung des Volumenwachstums zum einen linear fortgeschrieben („linear<sub>Stand</sub>“-Szenario) und zum anderen mit einer jährlichen Volumenzuwachsreduktion durch Ausfall von 1% reduziert („reduced<sub>Stand</sub>“-Szenario). Die jährliche Reduktion um den Faktor 1% führte zu einem sigmoiden und damit realitätsnäherem Wachstumsgang als die lineare Simulation. Grundlage der Bewertung nach realitätsnah oder –fern war hierbei die Ertragstafel von Jüttner (1955) (vgl. Abbildung 5.1). Leitlinien für die Beurteilung realistischer Volumenausstattung von Eichen-Buchenmischbeständen waren die Ertragstafel von Jüttner (1955) sowie Angaben von Preushler & Stögbauer (1990) sowie Pretzsch et al. (2013).

Tab. 5.1: Umtriebszeiten und BHD-Startwerte für die Simulationen des Z-Baumwachstums (U= Umtriebszeit)

Geologie	Bestand	Pflegeregime	BHD <sub>2012</sub> "best <sub>Tree</sub> - growth" [mm]	BHD <sub>2012</sub> "average <sub>Tree</sub> - growth" [mm]	potentielle Zuwachs- verluste bis 2012 [mm]	U "best <sub>Tree</sub> - growth" [a für BHD 70cm]	U "average <sub>Tree</sub> - growth" [a für BHD 70cm]
Buntsandstein	ehem. Dichtung	Kontrolle	210,0	210,0	x	136	136
		Negativauslese	184,6	184,6	x	132	132
		mäßige positive Förderung	239,9	197,3	42,6	109	141
		starke positive Förderung	230,1	199,4	30,7	122	139
	ehem. Stangenholz	Kontrolle	246,9	246,9	x	147	147
		Negativauslese	240,2	240,2	x	158	158
		mäßige positive Förderung	277,1	241,9	35,2	114	135
		starke positive Förderung	278,2	252,5	25,7	106	127
	ehem. schwaches Baumholz	Kontrolle	278,6	278,6	x	193	193
		Negativauslese	273,3	273,3	x	184	184
		mäßige positive Förderung	339,2	278,9	60,4	133	176
		starke positive Förderung	311,4	278,3	33,2	156	188
Muschelkalk	ehem. Dichtung	Kontrolle	189,4	189,4	x	134	134
		Negativauslese	181,5	181,5	x	135	135
		mäßige positive Förderung	247,2	206,7	40,5	102	131
		starke positive Förderung	245,9	215,8	30,1	102	134
	ehem. Stangenholz	Kontrolle	207,5	207,5	x	173	173
		Negativauslese	252,0	252,0	x	146	146
		mäßige positive Förderung	259,1	239,2	19,9	126	144
		starke positive Förderung	301,0	257,5	43,5	101	122

In Anlehnung an die genannten Autoren wurde eine maximale Volumenausstattung von 1.000 m<sup>3</sup> pro Hektar lebender Holzbiomasse festgelegt, die als Simulationsrestriktion nicht überschritten werden konnte. Dieses Vorratsniveau ist noch höher als das von Preushler & Stögbauer (1990), Korpel (1995) sowie Pretzsch et al. (2013) für Eichenbestände genannte. Allerdings werden in den angeführten Arbeiten Vorräte für extensiv bewirtschaftete oder aber nach einer Zeitspanne der Bewirtschaftung stillgelegte Bestände genannt. Da die jüngsten Bestände der Kontroll-Varianten der vorliegenden Studie niemals in Behandlung waren, erscheint die gutachterlich festgelegte maximale Volumenausstattung in Anlehnung an die Gesamtwuchsleistung jedoch gerechtfertigt. Ein Mortalitätsmodul wurde nicht in die

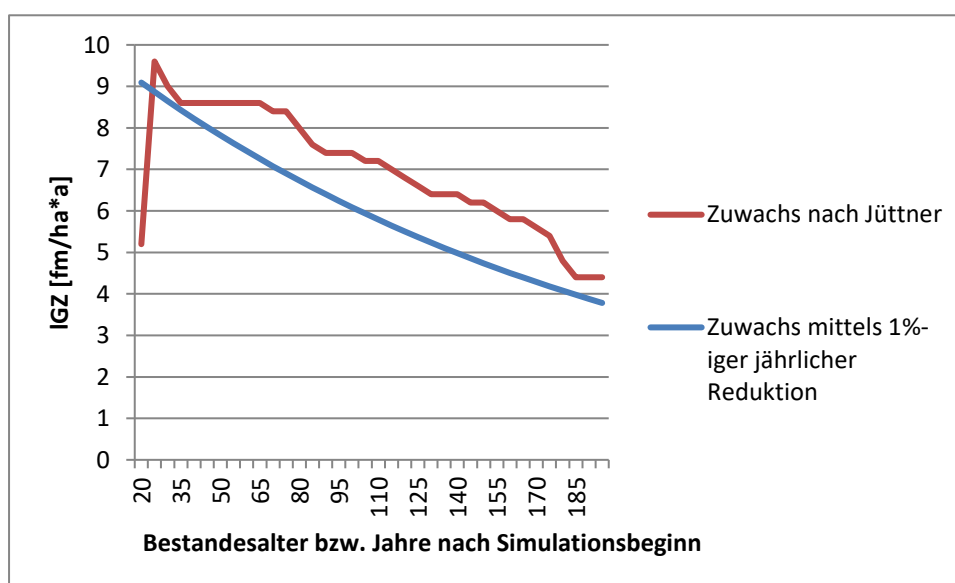


Abb. 5.1: Darstellung des reduzierten Volumenzuwachses über die Zeit nach Jüttner (1955) bzw. bei einer jährlichen Zuwachsreduktion um 1%

Simulationen integriert. Zur Beurteilung der produzierten Wertholzmenge der in der Simulation fortgeschriebenen Bestände am Ende der Umtriebszeit wurden die erreichbaren Wertholzvolumina hergeleitet (vgl. Tabelle 5.2). Diese stellen konservative Einschätzungen gemessen an den Überlegungen von Krahl-Urban (1952) dar, der in Eichenreinbeständen erster Bonität bei der Endnutzung bis zu 178 Erntefestmeter Wertholz pro Hektar ermittelte. In die Errechnung der erreichbaren Wertholzvolumina gingen folgende Parameter ein: Der Zieldurchmesser der jeweils 100 Z-Stämme pro Hektar wurde mit 70 cm festgesetzt (vgl. Nagel 2007). Die Wertholzbloche wurden über die real gemessenen astfreien Schaftlängen (AFS) des Jahres 2012 errechnet. Es wurde unterstellt, dass sich diese Höhen über die Zeit nicht änderten und die Kronenbasis angehalten ist (Wilhelm et al. 1999). Zur Errechnung der Volumina der Wertholzbloche wurde ein Formfaktor von 0,8 gewählt um eine moderate Abholzigkeit abzubilden. Um dem Risiko der Wasserreiserbildung und ähnlichen wertmindernden Faktoren (z.B. Zopftrocknis) bei den freigestellten Eichen in den



Durchforstungsregimes „2“ und „3“ zu begegnen, wurde die theoretisch erzeugbare Wertholzmenge um 50 % reduziert, was einen vergleichsweise vorsichtigen und konservativen Ansatz darstellt. Dies bedeutet, dass nur jeder 2te Z-Stamm Wertholz liefert. In den Behandlungsvarianten „0“ und „1“ wurden durch die Erhebungen von Beinhofer (2010) bereits reale und damit nicht weiter zu reduzierende Wertholz mengen ermittelt. Diese liegen bei 98 fm pro Hektar, sie wurden unverändert übernommen.

Tab. 5.2: Astfreie Schaftlänge (AFS) in den Beständen in den jeweiligen Behandlungen und unterstellte Wertholz mengen bei Erreichen von  $U_{\text{Ende}}$

Bestand*Behandlung (Parzellenummer)	Stichprobenumfang für AFS [N]	AFS [m]	Menge Wertholz bei $U_{\text{Ende}}$ [fm/ha]
10	29	4,74	98
11	29	5,59	98
12	26	5,47	84
13	25	5,33	82
20	28	8,28	98
21	26	7,85	98
22	25	7,26	112
23	29	6,99	108
30	24	9,97	98
31	24	10,47	98
32	24	10,28	158
33	24	10,1	155
40	24	6,08	98
41	28	6,21	98
42	25	6,26	96
43	26	5,74	88
50	24	8,79	98
51	28	8,68	98
52	24	7,72	119
53	24	8,24	127

Gemäß der Ergebnisse der waldbaulichen Studie der vorliegenden Arbeit wurden die Ausfallraten der ungepflegten jungen Traubeneichen in den Kontrollflächen in der Analyse berücksichtigt. Die finanziellen Effekte einer Flächenstilllegung konnten dadurch wirklichkeitsgetreuer eingeschätzt werden. Entsprechend der errechneten Umtriebszeiten der jeweiligen Durchforstungsregimes in den Beständen wurde der Anteil der Eichen (und damit auch der des Eichenwertholzes) den extrapolierten linearen Ausfallkurven angepasst und reduziert (vgl. Kapitel 4.3.2.13). Die Differenz zwischen Bestandeswuchsleistung und ausgefallenem Eichenvolumen wurde mit Buchenholz in Brennholzgüte aufgefüllt. Die

festgesetzten 98 fm pro Hektar Wertholz in der Pflegevariante „0“ reduzierten sich entsprechend den linearen Ausfallkurven aus Abbildung 5.2. In den „1“-er Flächen wurde unterstellt, dass konsequente Pflege 98 fm Wertholz pro Hektar bei  $U_{\text{Ende}}$  sichert.

Zusätzlich zu den dargestellten Unterscheidungen nach Zuwachsstärke auf Einzelbaumebene und der Volumenentwicklung auf Bestandesebene wurden Eingriffsintervalle von 5 und 10 Jahren in den Beständen simuliert und differenziert. Der Einfluss des Pfl egeturnus auf die finanzielle Leistung der jungen Traubeneichenbestände konnte so abgebildet und finanziell bewertet werden.

In Summe wurden acht verschiedene Szenarien in den Analysen mit gegebenem Zieldurchmesser und gegebener Umtriebszeit simuliert. Diese acht Szenarien ergaben sich aus der Kombination der Z-Baumzuwächse („average<sub>Tree</sub> growth“- und „best<sub>Tree</sub> growth“), der Bestandeszuwächse („linear<sub>Stand</sub>“-und „reduced<sub>Stand</sub>“) sowie den zwei Durchforstungsintervallen von 5 und 10 Jahren. Tabelle 5.3 zeigt die acht Szenarien in ihrer jeweiligen kombinatorischen Zusammensetzung der unterschiedlichen Einzelbaum- und Bestandeszuwächse sowie der Pfl egeturnusse. So wurde Szenario 1 beispielsweise für best<sub>Tree</sub>growth mit linearem Bestandeszuwachs und 10-jährigem Durchforstungsintervall berechnet.

Tab. 5.3: Kombinatorische Zusammensetzung der unterschiedlichen Einzelbaum- und Bestandeszuwächse sowie der Pfl egeturnusse in den acht Simulationsszenarien mit gegebenem Zieldurchmesser und definierter Umtriebszeit

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Z-Baumwachstum	durchschnittlich (average <sub>Tree</sub> )					x	x	x	x
	maximal (best <sub>Tree</sub> )	x	x	x	x				
Bestandeswachstum	degressiv (reduced <sub>Stand</sub> )		x		x		x		x
	linear (linear <sub>Stand</sub> )	x		x		x		x	
Durchforstungsintervall [a]	5			x	x			x	x
	10	x	x			x	x		

### 5.2.1.2 Spezifika der Simulationen bei Überschreiten der Zielstärke

Wird einem Bestand eine definierte Umtriebszeit zugewiesen, so fokussiert sich die finanzielle Betrachtung grundsätzlich auf  $U_{\text{Ende}}$ . Dabei wird nicht hinterfragt, ob der Bestand bereits zu einem früheren Zeitpunkt finanziell die Hiebsreife erreicht hätte. Etwaige Opportunitätskosten werden dadurch stillschweigend akzeptiert. Dies gilt insbesondere bei langen Verzinsungszeiträumen. Je länger die Produktionszeit ist, desto stärker können frühzeitig anfallende Durchforstungserlöse auf das Endergebnis wirken, als mögliche in der Zukunft zu erwartende hohe Abtriebswerte. Bewertet man einen Bestand zu jedem Zeitpunkt mit seinem kapitalisierten Abtriebswert zuzüglich der Aufwendungen und Erlöse der vorausgegangenen Pfl egeingriffe, so können diese Effekte sichtbar gemacht werden. Auch die Effekte von Flächenstilllegungen können dadurch weit in der Zukunft wirkend dargelegt werden. Das

Auftreten lokaler Maxima eines Wertentwicklungslaufs der Bodenertragswerte kann Hinweise zu einem optimalen Einschlagszeitpunkt geben. Ein letzter absolut hoher Klassensprung kann theoretisch so im Kontext von Zinseffekten als nicht noch anstrebenswert und als nicht mehr anzustreben identifiziert werden.

Zur Abbildung der beschriebenen Effekte erfolgten in einem zweiten Simulationsschritt diese Wuchsfortschreibungen und –bewertungen. Insbesondere die jungen Bestände wurden dadurch weit über ihr eigentliches  $U_{\text{Ende}}$  hinaus simuliert. Als Grenze der Betrachtung wurde das Alter 230 Jahre gewählt. Dieser Wert erlaubt auch die Fortschreibung des Bestandes mit der längsten simulierten Umtriebszeit um über 30 Jahre. Die lange Wuchszeit von 230 Jahren führte insbesondere bei den jüngeren Traubeneichenbeständen zu sehr hohen BHD-Endwerten. Grund hierfür war, dass dabei die Z-Stämme noch lange über ihre definierten Zieldurchmesser hinauswachsen konnten. Diesem methodischen Problem wurde durch die Fixierung des BHDs bei einem Endwert von 100 cm begegnet. Nach Überlegungen zum SDI<sup>9</sup> nach Reineke (1933) sind 100 Z-Stämme mit diesem BHD pro Hektar biologisch möglich. Im Umkehrschluss wurden höhere BHD-Endwerte mit einer Stammzahl von 100 pro Hektar für die Simulation nicht akzeptiert. Die Wuchsfortschreibung erfolgte einmal in einem „average<sub>Tree</sub>-growth“- (mittlere Jahrringbreiten) und einmal in einem „best<sub>Tree</sub>-growth“- (maximale Jahrringbreiten) Szenario. Beide simulierte Wuchsgänge basierten auf einem sich jährlich um 1% reduzierendem Zuwachswert von 10 fm/ha\*a im Simulationsstartjahr (vgl. Abb. 5.1). Linear konstanter Zuwachs hätte die Bestände unrealistisch vorratsreich anwachsen lassen; Maßstab war auch hier die Ertragstafel von Jüttner (1955). Die Sortimentsstaffelungen zu bestimmten Altern, Ausfallwahrscheinlichkeiten ungepflegter Eichen als auch die Holzpreise wurden analog zu den Simulationen mit definiertem Ende übernommen.

## **5.2.2 Beschreibung des Eingriffsgeschehens in den simulierten Beständen**

Im Folgenden wird das Eingriffsgeschehen in den simulierten Beständen dargestellt und erläutert.

### **5.2.2.1 Entnahmesätze für die finanzielle Simulation**

Die Entnahmesätze für die finanzielle Simulation werden folgend beschrieben.

#### **Entnahmesätze vor der dritten Pflege 2012**

Die Arbeiten von Sliwa (1986), Ecker (1992) sowie Küster (2000) geben keine genauen Auskünfte darüber, welche Derbholzmasse in den Pflegevarianten des

---

<sup>9</sup> SDI = Stand Density Index nach Reineke (1933)

Traubeneichenpflegeversuchs entnommen wurde. Bei Sliwa (1986) wurde aufgrund des jungen Alters der Bestände unterstellt, dass keine vermarktbare Masse an Brennholz im Zuge der Pflege anfiel und diese damit per se defizitär verliefen. Küster (2000) nennt keine Eingriffsstärke in Festmeter, dafür allerdings Entnahmesätze in m<sup>2</sup> Bestandesgrundfläche pro Hektar. Für alle Bestände jünger als 50 Jahre wurden in Anlehnung an die entnommene Grundfläche pauschal 10 fm pro Hektar Entnahmesatz veranschlagt. Für den ältesten Bestand „Stinkgräben“ wurden nach dem Gradienten der Eingriffsstärke für die Negativauslese 10 fm pro Hektar, für die mäßige positive Förderung 20 fm pro Hektar und für die starke positive Förderung 30 fm pro Hektar Brennholzanfall postuliert. Nach den Aufnahmen von 2012 korrelieren diese Mengen mit den von Küster (2000) genannten Entnahmen an Bestandesgrundfläche pro Hektar und erscheinen daher als stichhaltig.

### **Entnahmesätze bei der dritten Pflege im Jahr 2012**

In der finanziellen Analyse und Bewertung der Pflegevarianten wurden im Jahr 2012 die realen Werte aus den umgesetzten Pflegeeingriffen verwendet. Über den durch Vollkluppungen ermittelten BHD des ausscheidenden Bestands wurde mittels der Höhen-Regressionsfunktionen (vgl. Kapitel 4.3.2.3 - Ergebnisse Höhen)

a) für Eiche:  $\text{LN}(\text{Höhe [cm]}) = 9,837 - 11,893 * (1/\text{LN}(\text{BHD [mm]}))$

b) für Buche:  $\text{Höhe [cm]} = -151,55 + 147,881 * (\text{BHD[mm]})^{1/2}$

unter Zuhilfenahme des Formfaktors 0,5 das entnommene Volumen errechnet. Dieses Volumen wurde gänzlich als Brennholz aufgefasst. Lediglich im Bestand „Stinkgräben“ wurden 20 % als Parkettholz in Güte C nach RVR (Deutscher Forstwirtschaftsrat & Deutscher Holzwirtschaftsrat 2014) sortiert (Paar 2013). Diese Sortimentsaufteilung wurde für alle simulierten Bestände ab Alter 77 bis zum Erreichen eines BHD von 40 cm übernommen. Tabelle 5.4 gibt Auskunft über die Entnahmen des dritten Entnahmeeingriffs im Jahr 2012.

Tab. 5.4: Kennwerte der Entnahme 2012 für die Behandlungsvarianten in den Beständen

Bestand und Behandlung	Entnahme [N/ha]	Entnommene Grundfläche [m <sup>2</sup> /ha]	Entnommenes Derbholz [fm/ha]
„Jockel“ - Kontrolle	0	0,00	0,00
„Jockel“ - Negativauslese	240	2,91	24,20
„Jockel“ - mäßige positive Förderung	160	2,66	23,88
„Jockel“ - intensive positive Förderung	704	10,40	94,11
„Hehler“ - Kontrolle	0	0,00	0,00
„Hehler“ - Negativauslese	200	5,51	50,37
„Hehler“ - mäßige positive Förderung	120	3,38	30,54
„Hehler“ - intensive positive Förderung	480	9,71	88,65
„Stinkgräben“ - Kontrolle	0	0,00	0,00
„Stinkgräben“ - Negativauslese	470	5,76	39,18
„Stinkgräben“ - mäßige positive Förderung	165	5,73	49,83
„Stinkgräben“ - intensive positive Förderung	630	13,10	115,34
„Rindshügel“ - Kontrolle	0	0,00	0,00
„Rindshügel“ - Negativauslese	344	3,01	24,01
„Rindshügel“ - mäßige positive Förderung	144	2,65	23,80
„Rindshügel“ - intensive positive Förderung	632	9,73	88,17
„Ochsenau“ - Kontrolle	0	0,00	0,00
„Ochsenau“ - Negativauslese	624	6,62	44,79
„Ochsenau“ - mäßige positive Förderung	152	4,34	39,90
„Ochsenau“ - intensive positive Förderung	656	12,67	108,40

### Entnahmesätze für zukünftige Durchforstungen

Für die zukünftigen Eingriffe im Zuge der Wuchssimulationen wurden pauschale Eingriffstärken pro Dekade definiert. Die so festgelegten Hiebsätze pro Bestand und Behandlungseinheit sind fixiert und werden bis zum Ende der Umtriebszeit (Erreichen des Zieldurchmessers von 70 cm der Z-Stämme bzw. bei 230 Jahren bei den Simulationen ohne  $U_{\text{Ende}}$ ) beibehalten. Modell-theoretisch erlauben Einwüchse, insbesondere von Buche, eine gleichmäßige Entnahme auch bei den intensiven Pflegeprogrammen „2“ und „3“. Die Stilllegungsflächen weisen keinen zukünftigen Entnahmesatz auf. Im Pflegeregime „klassische Negativauslese“ wurde eine Eingriffsstärke von 30 fm pro Hektar im Jahrzehnt festgelegt, die sich in ihrer Höhe an der Entnahme aus dem Jahr 2012 anlehnt. Für die „mäßige positive Förderung“ beläuft sich die definierte Eingriffsstärke auf 40 fm pro Hektar. Sie leitet sich von

1,5 Bedrängern pro Z-Stamm mit unterstelltem mittleren BHD von 20 cm ab. Bei der starken positiven Förderung wurde von drei Bedrängern mit mittlerem BHD von 20 cm bei 100 Z-Stämmen ausgegangen, was in einer Eingriffsstärke von 60 fm pro Hektar mündet. Tabelle 5.5 informiert über die Sortierung der postulierten Entnahmemengen in der Zukunft. Die Sortimente wurden nach Vorgaben der RVR (Deutscher Forstwirtschaftsrat & Deutscher Holzwirtschaftsrat 2014) benannt.

Tab.5.5: Aufgliederung der postulierten Hiebsmassen in Sortimente nach RVR bei bestimmten Altern

Alter	Hiebsmassen
bis Alter 77	100% Brennholz (BL)
ab Alter 77	80% BL, 20% Stammholz Qualität C (ST-C)
ab Z-Baum-BHD 40cm	10% Stammholz stärker 40 cm Qualität B (ST-D-B), 20% ST-C, 70% BL
ab Z-Baum-BHD 50cm	25% ST-D-B, 20% ST-C, 55% BL
ab Z-Baum-BHD 60cm	40% ST-D-B, 20% ST-C, 20% BL
ab Z-Baum-BHD 70cm	simulierter Wertholzanteil, Rest: 20% ST-C, 80% BL

### 5.2.2.2 Aufwendungen für Pflegevarianten im Bestandesleben

Die jungen Traubeneichenbestände erfuhren in den ersten Jahren ihres Wachstums in unterschiedlicher Intensität Läuterungen, Düngungen und mechanische Unkrautbekämpfungen. Diese sind den Revierbüchern der entsprechenden Forstreviere, in denen die Bestände stocken, entnommen und bei Sliwa (1986), Ecker (1992) sowie Küster (2000) dokumentiert, aber nicht nach ihren Kosten beziffert. Um diese real aufgetretenen und bezüglich ihrer Zinseffekte unter Umständen stark wirkenden Kosten zu berücksichtigen, wurden diese nach heutigen Kostensätzen überschlägig bewertet. Tabelle 5.6 gibt diese Kosten im Einzelnen wieder und zeigt auch unterstellte Holzerntekosten inkl. Holzückung, die in Zukunft erwartet werden.

Tab. 5.6: Unterstellte Kostensätze für in der Vergangenheit real stattgefundene Behandlungen der jungen Traubeneichenbestände

Kostenpunkt	Kosten
Begründungskosten einer Eichenkultur [€]	10.000,-
Arbeitsstunde eines Forstwirts mit Lohnnebenkosten [€/h]	40,00,-
Zeitbedarf einer Läuterung pro Hektar [h/ha]	20
Düngung [€/ha]	500,00,-
mechanische Unkrautbekämpfung [€/ha]	300,00,-
Holzerntekosten [€/fm]	20,00,-

### 5.2.2.3 Erlöse aus den Pflegeeingriffen

Für die Bewertung der Holzmassen, die im Zuge der Durchforstungen und Endnutzungen anfielen, wurden die entsprechenden Sortimente nach Tabelle 5.7 finanziell bewertet. Die prozentuelle Aufteilung der Holzmassen nach unterschiedlichen Sortimenten ist in Tabelle 5.5 dargestellt. Die Preise für die Sortimente ST-C (Stammholz der Güte C) und BL (Brennholz lang) wurden gutachterlich nach der Marktlage der Jahre 2012 bis 2016 bewertet.

Tab. 5.7: Holzpreise einzelner Sortimente, die für die finanzielle Bewertung der Durchforstungsvarianten verwendet wurden

Sortiment	Preis
Werthholzpreis	670,- €/fm (Beinhofer 2010)
Preis ST über 40 cm in Qualität B (ST-D-B)	258,- €/fm (Beinhofer 2010)
Eiche Qualität C (ST-C)	120,- €/fm
Brennholz (BL)	50,- €/fm

### 5.2.3 Methoden der finanziellen Bewertung

Jahresscharf wurden zur finanziellen Bewertung der Durchforstungsvarianten in den simulierten Beständen die entsprechenden Nettozahlungsströme berechnet. Diese ergaben sich zu jedem Zeitpunkt  $t$  [a] aus der Differenz der Einnahmen und der Aufwände des Eingriffs.

#### Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode ist eine Methode der Finanzmathematik, die es erlaubt unter der Einbeziehung von Zinseffekten verschiedene Optionen von Investitionsalternativen zu vergleichen (Heidingsfelder & Knoke 2004, Wöhe 2005, Thommen & Achleitner 2009). Diejenige Option, die den höheren Kapitalwert aufweist, ist die ökonomisch attraktivere und somit diejenige, die vorgezogen werden sollte. Die Methode des Kapitalwertvergleichs ist für den Vergleich der verschiedenen Durchforstungsregime geeignet, da sie zeigt, in welcher Art die Bestände durchforstet werden sollten, um zu den bestmöglichen wirtschaftlichen Ergebnissen zu gelangen.

Zur Errechnung der Kapitalwerte wurde jeder Nettozahlungsstrom bezüglich seines Auftretens zum Zeitpunkt  $t$  diskontiert. In Anlehnung an Wöhe (2005) lässt sich die Formel zur Errechnung des Kapitalwerts wie folgt beschreiben:

$$K_0 = -A_0 + \sum_{t=1}^n \text{Nettozahlungsstrom} * (1 + i)^{-t} + L_n * (1 + i)^{-n}$$

$K_0$	=	Kapitalwert
$A_0$	=	Kulturkosten
$L_n$	=	Liquidationswert durch Kahlschlag
$i$	=	Kalkulationszinsfuß
$t$	=	Zeitpunkt eines Zahlungsstroms
$n$	=	Umtriebszeit

### Bodenertragswertmethode

Der Bodenertragswert ist eine dem Kapitalwert ähnliche finanzwirtschaftliche Kennzahl. Sie unterstellt jedoch, dass eine Investition nicht wie beim Kapitalwert nach ihrer Laufzeit endet, sondern dass in wiederkehrender Folge eine Bestandesgeneration an die nächste anschließt (Knoke et al. 2012). Der Bodenertragswert ist daher geeignet, unterschiedliche finanzielle Varianten unterschiedlicher Laufzeit miteinander zu vergleichen. Der Bodenertragswert errechnet sich wie folgt:

$$B_0 = \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} * K_0$$

$B_0$	=	Bodenertragswert
$(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$	=	Verrentungsfaktor zum Barwert einer ewigen, nachschüssigen Rente
$K_0$	=	Kapitalwert

### Annuitätenmethode

Analog zur Kapitalwert- oder Bodenertragswertmethode ist die Annuitätenmethode als eine klassische Bodenrente geeignet, um unterschiedliche Investitionen miteinander zu vergleichen – allerdings nur dann, wenn die Planungsperioden in ihrer Länge übereinstimmen und immer gänzlich durchlaufen werden. Es ist also im Kontext der vorliegenden Arbeit zu unterstellen, dass die Folgebestockung immerwährend aus führender Eiche im Hochwaldbetrieb und eine fortwährende Wiederholbarkeit der Investition besteht. Durch diese Unendlichkeit werden die Investitionsperioden gleichlang.



Diejenige Investition, die die höhere Annuität zeigt, ist die Vorteilhaftere. Die Annuitätenmethode verteilt im Gegensatz zur Kapitalwertmethode die auftretenden Nettozahlungsströme theoretisch gleichmäßig über die Zeit. Derart entstehen nachschüssig-gleichbleibende Renten oder Annuitäten (Faustmann 1849, Thommen & Achleitner 2009, Wöhe 2005). Diese sind in der Regel leichter nachvollziehbar als Kapitalwerte, da sie nach Kato (1986) linear auf ein einzelnes Jahr hinuntergebrochen sind und nicht als einzelne kapitalisierte Summe erscheinen. Der Vorteil der Annuitätenmethode ist neben der beschriebenen leichteren Verständlichkeit die Tatsache, dass Investitionen unterschiedlicher Dauer analog zum Bodenertragswert miteinander verglichen werden können (Heidingsfelder & Knoke 2004) – sofern wie oben dargestellt eine unendliche Folge dieser Investitionen unterstellt werden kann.

Die Annuität errechnet sich über den Kapitalwert und den Annuitätenfaktor (Wöhe 2005, Knoke et al. 2012) (bzw. Wiedergewinnungsfaktor (Thommen & Achleitner 2009) oder Rentenbarwertfaktor (Wöhe 2005)) und lässt sich wie folgt darstellen:

$$a = K_0 * \frac{i*(1+i)^n}{-1+(1+i)^n}$$

a	=	Annuität
K <sub>0</sub>	=	Kapitalwert
i	=	Kalkulationszinsfuß
n	=	Umtriebszeit

Annuitäten lassen sich aus den Bodenertragswerten direkt ableiten und stellen darum eine sehr ähnliche finanzielle Kennzahl zum Bodenertragswert dar.

### Finanzielle Prämissen der Simulationen

Für die unbehandelten Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs gab es keine Nettozahlungsströme, außer den Kulturkosten und den theoretischen Abtriebswerten am Ende der Umtriebszeit beziehungsweise zu jedem Zeitpunkt bei der Simulation ohne U<sub>Ende</sub>. Für alle anderen Durchforstungsregime wurden die entsprechenden Summen von diskontierten Nettozahlungsströmen gebildet. Die Kulturkosten waren in den vorliegenden Analysen fixiert; sie liegen bei 10.000,-€ pro Hektar. Der Liquidationswert der Bestände wurde über die Simulation der Bestandsvolumina und der entsprechenden Sortimentsverteilung bei der Liquidation ermittelt.

Der zu verwendende Kalkulationszinsfuß i ist eine in der Forstwissenschaft intensiv diskutierte Größe. Von seiner Negation im Waldreinertrag bis hin zu verhältnismäßig hohen Zinsfüßen in der tropischen Forstwirtschaft (vgl hierzu Paul 2014) reicht sein Spektrum von 0 % bis über 10

%). In Anlehnung an Sagl (1995) sowie Knoke et al. (2005) wurde für die in vorliegender Studie durchgeführten Simulationen ein Zinsfuß von 2 % gewählt, der für die Eichenwirtschaft als hoch bewertet werden kann. Kerr (1996) berichtet von Kalkulationen mit 3% Verzinsung in Eichenbetriebsklassen. Die Umtriebszeit  $n$  beruht auf den Umtriebszeitsimulationen, die auf den Jahrringuntersuchungen in den jungen Traubeneichenbeständen basierten. In den Sensitivitätsanalysen, die den eigentlichen Simulationsanalysen folgen, werden die Kulturkosten und Zinsfüße von 0% bis 3% variiert, um deren Wirkung auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit von Eichenbeständen zu zeigen.

### **Sensitivitätsanalysen**

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die wirtschaftlichen Ergebnisse der acht untersuchten Szenarien in den Beständen des Traubeneichenpflegeversuchs werden durch Sensitivitätsanalysen (auch *ceteris-paribus* Analyse genannt) in ihrer Wirkung analysiert. Bei diesen Analysen bleiben alle Prämissen der acht Szenarien unverändert, lediglich eine einzige Einflussvariable verändert sich. Hierdurch kann die Sensitivität der Varianten auf die Einflussgröße beschrieben werden (Wöhe 2005). Sensitivitätsanalysen erlauben die Bedeutung einer einzelnen Variable zu erkennen, zu beurteilen und die Bedeutung dieser Variable zu ermessen. Für die vorliegende Studie wurden unter strikter Beibehaltung aller Szenarioprämissen die Kulturkosten und der Zins adaptiert und ihr Einfluss auf die Annuitäten der acht Szenarien eruiert. Wachstumsgänge auf Einzelbaum- und Bestandesebene, Durchforstungsstärken und -intervalle sowie die Preise der einzelnen Sortimente aus den Eichenbeständen erfuhren keine Adaption.

## 5.3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der finanziellen Studie dargelegt.

### 5.3.1 Annuitäten der Behandlungsvarianten bei definiertem Zieldurchmesser und jeweiliger Umtriebszeit

#### 5.3.1.1 Annuitäten der acht einzelnen Simulationsvarianten

Die acht Simulationsszenarien führten für jede Variante des Traubeneichenpflegeversuchs zu acht Annuitäten; pro Simulation ergab sich eine Annuität. Jedes Simulationsszenario enthält in sich zwanzig Annuitäten für die zwanzig Varianten des Traubeneichenpflegeversuchs. Somit ergeben sich in Summe  $20 * 8 = 160$  Annuitäten. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 5.8 dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit ist der Ergebnistabelle der Tabellenkopf aus Tabelle 5.3 beigefügt. Somit sind leichtere Quervergleiche zwischen den acht Szenarien möglich.

Unter den gegebenen und im Vorfeld definierten Prämissen (Wachstumsgänge von Einzelbäumen und Beständen, Eingriffsgeschehen, Sortenstaffelung und –bewertung sowie dem verwendeten Zinssatz) weisen die Stilllegungsflächen als auch die klassischen Negativauslesen konsequent negative Annuitäten auf. Sie sind also durchweg wirtschaftlich nicht vorteilhaft. Dieser Umstand ist auf allen Standorten und in allen Wachstumsklassen einheitlich zu beobachten. Die Stilllegungsflächen zeigen hierbei die absolut höheren Annuitäten, sind also wirtschaftlich noch unattraktiver als die klassischen Negativauslesen. Die schlechteste finanzielle Leistungsfähigkeit wurde mit einer Annuität von  $-215,78$  €/ha in der Stilllegungsfläche im Szenario 6 des ältesten Bestands „Stinkgräben“ errechnet. Mit  $-148,62$  €/ha erreichte ebenfalls im Bestand „Stinkgräben“ das Szenario 6 die schlechteste Annuität in der klassischen Negativauslese.

Die Waldbausysteme, die auf den positiven Stamm fokussieren („2“ und „3“), sind in ihrer wirtschaftlichen Leistung nicht so einheitlich wirkend. Abhängig von der Kombination der einzelnen Simulationsprämissen ergeben sich deutlich negative als auch deutlich positive Annuitäten. Auch indifferente Ergebnisse, die um den Nullwert schwanken treten auf. Es wirken Einzelbaum- und Bestandeswachstum zusammen. Simulationsläufe mit konstant hohem Einzelbaum- und Bestandeszuwachs führen zu höheren Annuitäten als die Simulationsläufe mit degressiven Wachstumsgängen. Zusätzlich wirken erwartungsgemäß die Umtriebszeiten auf die Höhe der Annuitäten. Je länger sie andauern, desto niedriger sind die errechneten Annuitäten. Dies wird insbesondere beim Bestand „Stinkgräben“ offensichtlich, der basierend auf den Messungen und Simulationen die längsten Umtriebszeiten mit korrespondierend schlechtesten Wirtschaftsergebnissen aufweist. In diesem Eichenbaumholz

ist unter den hier getroffenen Annahmen bis auf einen Einzelfall nicht mit positiven wirtschaftlichen Ergebnissen zu rechnen.

Das Alter, in dem der Bestand in Behandlung genommen wurde, ist bezüglich der finanziellen Ergebnisse nicht einheitlich zu bewerten. Im Vergleich zum Bestand „Stinkgräben“, der erst als angehendes Baumholz erstmalig durchforstet wurde, schneiden die jüngeren Bestände besser ab. In sich ist aber dieses Kollektiv uneinheitlich, die mittelalten Bestände weisen in der stärksten Durchforstung höhere Annuitäten auf als die jüngsten Bestände in dieser Durchforstungsart. Bei der mäßigen positiven Auslese ist es andersherum.

Uneinheitlich fallen auch die Wirkung der Pflege und Pflegeintervalle auf die Höhe der Annuitäten aus. Generell bedingen Pflegeeingriffe durch Holzanfall und –vermarktung nicht zwingend positive Wirtschaftsergebnisse. Besonders eindeutig wird dies bei den klassischen Negativauslesen. Hier können Beiträge aus Durchforstungen nicht zu positiven Annuitäten führen; ihr positiver Aspekt verpufft aufgrund der langen Umtriebszeiten. Der Vergleich der Pflugesturne zeigt, dass weder kurze noch lange Pflegeintervalle per se zu besseren wirtschaftlicheren Ergebnissen führen. Ob im 5- oder 10-jährigen Turnus durchforstet wird, ist in der Betrachtung der wirtschaftlichen Leistung letztendlich nicht ausschlaggebend.

Einheitlich wirkt hingegen der Standort auf das Wirtschaftsergebnis der Eichenbestände. Auf den basenreichen Muschelkalkstandorten zeigen die im Alter korrespondierenden Bestände im Vergleich zu den Eichenhölzern auf den ärmeren Sanden des Spessarts deutlich höhere Annuitäten. Insbesondere im Bestand „Ochsenau“ wird dies im Vergleich zum Bestand „Hehler“, der auf Buntsandstein stockt, ersichtlich. Im Szenario 1 lässt sich mit 148,71 €/ha eine mehr als doppelt so hohe Annuität als auf Buntsandstein erwirtschaften. Diese Annuität ist auch die absolut höchste, die sich in den acht Simulationsvarianten errechnen ließ.

Der Einfluss des Einzelbaumwachstums der Z-Stämme auf die erzielbaren Annuitäten wird in Tabelle 5.8 ebenfalls ersichtlich. Die Szenarien 1-4 heben sich durch 27 positive Annuitäten von den Szenarien 5-8 ab, die nur 6 positive Annuitäten aufweisen. Die Szenarien 5-8 lassen die Z-Stämme im „average<sub>Tree</sub>-growth“-Zuwachs (mittlere reale Jahrringbreiten) wachsen, die Szenarien 1-4 im „best<sub>Tree</sub>-growth“ Zuwachs (maximal gemessene Jahrringbreiten). Die zu vergleichenden Szenarien (1&5, 2&6, 3&7, 4&8) sind in allen Prämissen einheitlich, bis auf die Art des Z-Stamm-Wachstums. Die „best<sub>Tree</sub>-growth“ Wuchsgänge schneiden eindeutig wirtschaftlich besser ab; die Wertleistung des einzelnen Z-Stammes wird durch diesen Vergleich hervorgehoben und unterstrichen.

Effekte der Massenleistung in Eichenbeständen lassen sich durch den Vergleich der Szenarien (1&2, 3&4, 5&6, 7&8) zeigen, die in allen Prämissen übereinstimmen, außer im Bestandeswachstum. Die Simulationen zeigen, dass die Annuitäten in den Varianten des Bestandeswachstums „linear<sub>Stand</sub>-Szenario“ die Annuitäten im Wachstumsgang „reduced<sub>Stand</sub>-Szenario“ übertreffen. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Annuitäten nicht so groß wie beim Vergleich unter gleichen Voraussetzungen bei divergierendem Z-Stamm-Wachstum. Die Massenleistung der Eichenbestände steht demnach in ihrer Einflussstärke auf das wirtschaftliche Ergebnis hinter der Wertleistung des einzelnen Z-Stamms. Unterstrichen wird diese Feststellung auch dadurch, dass die klassischen Negativauslesen mit geringen Entnahmesätzen hohe Vorratshaltungen zum Ende der Umtriebszeit aufweisen. Dabei weisen sie aber negative Annuitäten auf. Im Gegensatz hierzu können Szenarien mit starker positiver Förderung („3“) auf Muschelkalk, die zum Ende der Umtriebszeit wenig mehr Vorrat aufweisen als in den Z-Stämmen akkumuliert ist, mit höchsten Annuitäten aufwarten.

Tab. 5.8: Darstellung der Annuitäten [€/ha] der acht Simulationsvarianten bei definierten BHDs und jeweiligen Umtriebszeiten

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Z-Baumwachstum	durchschnittlich (average <sub>Tree</sub> )					x	x	x	x
	maximal (best <sub>Tree</sub> )	x	x	x	x				
Bestandeswachstum	degressiv (reduced <sub>Stand</sub> )		x		x		x		x
	linear (linear <sub>Stand</sub> )	x		x		x		x	
Durchforstungsintervall [a]	5			x	x			x	x
	10	x	x			x	x		
Bestand „Jockel“	Kontrollfläche	-183,26	-201,95	-183,26	-201,95	-183,26	-201,95	-183,26	-201,95
	Negativauslese	-46,99	-73,20	-47,91	-74,12	-46,99	-73,20	-49,66	-75,56
	mäßige positive Förderung	18,75	-9,30	12,78	-15,27	-65,50	-78,74	-73,92	-86,79
	starke positive Förderung	9,31	-12,51	10,89	-10,93	-27,39	-39,48	-27,19	-40,53
Bestand „Hehler“	Kontrollfläche	-138,11	-151,84	-138,11	-151,84	-138,11	-151,84	-138,11	-151,84
	Negativauslese	-95,06	-112,78	-96,39	-114,11	-95,06	-112,78	-95,06	-112,58
	mäßige positive Förderung	32,17	6,96	26,34	1,14	-36,90	-50,41	-42,83	-57,25
	starke positive Förderung	63,80	42,01	66,72	44,93	0,80	-11,30	0,62	-10,84
Bestand „Stinkgräben“	Kontrollfläche	-196,40	-200,89	-187,52	-200,89	-202,40	-215,78	-202,40	-215,78
	Negativauslese	-138,08	-148,52	-135,60	-146,04	-138,08	-148,62	-137,04	-147,82
	mäßige positive Förderung	-1,13	-14,93	1,49	-12,31	-98,36	-101,94	-96,19	-100,16
	starke positive Förderung	-48,17	-42,38	-44,66	-38,87	-85,54	-83,31	-84,13	-81,68
Bestand „Rindshügel“	Kontrollfläche	-172,48	-202,55	-172,48	-202,55	-172,48	-202,55	-172,48	-202,55
	Negativauslese	-53,95	-79,46	-40,58	-79,64	-53,95	-79,46	-56,61	-81,83
	mäßige positive Förderung	63,78	35,17	67,25	24,09	-39,15	-51,29	-47,56	-59,27
	starke positive Förderung	66,19	42,21	79,65	41,13	-21,91	-31,53	-22,10	-31,13
Bestand „Ochsenau“	Kontrollfläche	-190,33	-197,76	-190,33	-197,76	-190,33	-197,76	-190,33	-197,76
	Negativauslese	-59,15	-79,52	-58,93	-79,30	-59,15	-79,52	-58,47	-78,61
	mäßige positive Förderung	15,67	-8,82	11,48	-9,81	-28,37	-47,33	-32,04	-50,68
	starke positive Förderung	148,71	129,33	148,60	129,23	64,10	46,05	62,72	42,74

### 5.3.1.2 Sensitivitätsanalysen

Im Folgenden werden 2 Sensitivitätsanalysen dargestellt. Zum einen werden die Kulturkosten, zum anderen der unterstellte Zinssatz verändert. Alle anderen Prämissen der acht Wuchsszenarien bleiben jeweils unverändert und werden in den Analysen der Sensitivitätsanalysen konstant gehalten.

#### Einfluss der Kulturkosten

Die Kulturkosten der acht Szenarien sind in der grundlegenden Analyse mit 10.000 €/ha angesetzt. Für die Sensitivitätsanalysen werden die Kulturkosten in einem ersten Schritt auf 5.000 €/ha halbiert. In einem zweiten Schritt wird Naturverjüngung simuliert, die Kulturkosten werden auf 0 €/ha reduziert.

#### Annuitäten bei Kulturkosten von 5.000 €/ha

Die Kulturkosten haben eine starke Wirkung auf die finanzielle Leistung der Traubeneichenbestände (Tabelle 5.9). Zum einen durch ihre absolute Höhe, zum anderen aufgrund ihrer lang anhaltenden Zinswirkung, da sie zu Beginn der zu beendenden Umtriebszeit auftreten und über diese komplett verzinst werden müssen. Die Halbierung der Kulturkosten wirkt insbesondere bei den klassischen Negativauslesen wirtschaftlich positiv, die im Gegensatz zum Grundszenario nun positive Annuitäten aufweisen. Der Einfluss des Bestandes- und Einzelbaumwachstums des Z-Stamms tritt in seiner Wirkung zurück. Insgesamt weisen wesentlich mehr der 160 Annuitäten ein positives Vorzeichen und somit Überschuss auf. Auffällig ist, dass sich die beste Annuität von 148,71 €/ha im grundlegenden Szenario auf 264,36 €/ha in Szenario 1 im Bestand „Ochsenau“ in Behandlung „3“, beinahe verdoppelt. Im Bestand „Stinkgräben“, dem ältesten Versuchsbestand, werden mit verringerten Kulturkosten auch positive Wirtschaftsergebnisse möglich. Im grundlegenden Szenario war dies nicht so. Die im Vergleich zu den anderen Beständen festgestellten langen Umtriebszeiten dieses Bestandes treten somit in ihrer Wirkung zurück.

Generell ist festzustellen, dass die negativen Annuitäten in ihrer Anzahl und absoluten Höhe abnehmen und die defizitären Behandlungsvarianten in den entsprechenden Wachstumsregimes wirtschaftlicher wirken können. Die schlechteste Annuität beträgt in dieser Analyse -113,54 €/ha, in der grundlegenden Analyse betrug sie noch -215,78 €/ha. Beide Annuitäten errechnen sich in Szenario 6 im Bestand „Stinkgräben“ in Stilllegung und sind somit vergleichbar.

Tab. 5.9: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Kulturkosten bei 5000 €/ha

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Z-Baumwachstum	durchschnittlich (average <sub>Tree</sub> )					x	x	x	x
	maximal (best <sub>Tree</sub> )	x	x	x	x				
Bestandeswachstum	degressiv (reduced <sub>Stand</sub> )		x		x		x		x
	linear (linear <sub>Stand</sub> )	x		x		x		x	
Durchforstungsintervall [a]	5			x	x			x	x
	10	x	x			x	x		
Bestand „Jockel“	Kontrollfläche	-76,00	-94,69	-76,00	-94,69	-76,00	-94,69	-76,00	-94,69
	Negativauslese	60,92	34,70	60,00	33,78	60,92	34,70	58,25	32,35
	mäßige positive Förderung	131,81	103,76	125,84	97,79	41,03	27,79	32,61	19,74
	starke positive Förderung	119,12	97,30	120,70	98,88	79,42	67,33	79,62	66,29
Bestand „Hehler“	Kontrollfläche	-32,35	-46,09	-32,35	-46,09	-32,35	-46,09	-32,35	-46,09
	Negativauslese	9,52	-8,21	8,19	-9,53	9,52	-8,21	9,51	-8,01
	mäßige positive Förderung	143,85	118,64	138,03	112,82	70,51	57,00	64,58	50,17
	starke positive Förderung	177,77	155,98	180,69	158,90	109,60	97,50	109,42	97,96
Bestand „Stinkgräben“	Kontrollfläche	-94,16	-98,66	-85,28	-98,66	-100,17	-113,54	-100,17	-113,54
	Negativauslese	-35,39	-45,83	-32,92	-43,36	-35,39	-45,94	-34,35	-45,14
	mäßige positive Förderung	106,60	92,81	109,22	95,43	4,80	1,22	6,97	3,00
	starke positive Förderung	56,60	62,39	60,11	65,90	16,94	19,16	18,35	20,80
Bestand „Rindshügel“	Kontrollfläche	-64,91	-94,98	-64,91	-94,98	-64,91	-94,98	-64,91	-94,98
	Negativauslese	53,46	27,95	66,83	27,77	53,46	27,95	50,81	25,58
	mäßige positive Förderung	179,08	150,46	182,55	139,39	68,92	56,78	60,51	48,80
	starke positive Förderung	181,48	157,51	194,95	156,43	85,66	76,04	85,47	76,45
Bestand „Ochsenau“	Kontrollfläche	-86,97	-94,40	-86,97	-94,40	-86,97	-94,40	-86,97	-94,40
	Negativauslese	46,73	26,36	46,95	26,58	46,73	26,36	47,40	27,26
	mäßige positive Förderung	124,66	100,17	120,47	99,18	77,76	58,80	74,09	55,45
	starke positive Förderung	264,36	244,99	264,26	244,88	173,90	155,86	172,52	152,54



**Annuitäten bei Kulturkosten von 0 €/ha**

Tabelle 5.10 zeigt die Annuitäten bei unterstellten Kulturkosten von 0 €/ha. Dies simuliert eine reine Naturverjüngung ohne Kosten verursachende Faktoren wie Pflanzung oder Saat. Auffällig ist, dass fast durchgehend positive Annuitäten erreicht werden. Lediglich die Stilllegungsvariante im Bestand „Stinkgräben“ erreicht in zwei Szenarien kein positives Vorzeichen.

Mit maximal 380,01 €/ha wird ein sehr hoher Wert für eine Annuität erreicht (in Szenario 1 im Bestand „Ochsenau“ in Behandlung „3“). Generell wird ersichtlich, dass die Annuitäten von der Stilllegungsfläche über die klassische Negativauslese zu den positiven Auslesen mit steigender Begünstigung des Z-Stamms ansteigen. Allerdings wird dieses Muster nur auf den Muschelkalkstandorten konsequent eingehalten. Auf Buntsandstein ist eine Tendenz erkennbar, allerdings nicht so konsequent wie in den Beständen der Fränkischen Platte (Muschelkalk). Allerdings zeigen die beiden positiven Auslesen stets höhere Annuitäten als die beiden anderen Varianten des Traubeneichenpflegeversuchs. Die Wahl des Pflegeurnus spielt bei vernachlässigbaren Kulturkosten keine Rolle. Die Ergebnisse unterscheiden sich unter dieser Voraussetzung für 5-jährigen und 10-jährigen Turnus nur marginal und uneinheitlich.

Tab. 5.10: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Kulturkosten bei 0 €/ha

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Z-Baumwachstum	durchschnittlich (average <sub>Tree</sub> )					x	x	x	x
	maximal (best <sub>Tree</sub> )	x	x	x	x				
Bestandeswachstum	degressiv (reduced <sub>Stand</sub> )		x		x		x		x
	linear (linear <sub>Stand</sub> )	x		x		x		x	
Durchforstungsintervall [a]	5			x	x			x	x
	10	x	x			x	x		
Bestand „Jockel“	Kontrollfläche	31,26	12,57	31,26	12,57	31,26	12,57	31,26	12,57
	Negativauslese	168,82	142,61	167,90	141,69	168,82	142,61	166,15	140,25
	mäßige positive Förderung	244,87	216,82	238,90	210,85	147,56	134,32	139,14	126,27
	starke positive Förderung	228,92	207,10	230,50	208,68	186,23	174,14	186,43	173,10
Bestand „Hehler“	Kontrollfläche	73,40	59,67	73,40	59,67	73,40	59,67	73,40	59,67
	Negativauslese	114,09	96,37	112,77	95,04	114,09	96,37	114,09	96,57
	mäßige positive Förderung	255,53	230,33	249,71	224,50	177,92	164,41	172,00	157,58
	starke positive Förderung	291,74	269,95	294,65	272,87	218,40	206,29	218,21	206,76
Bestand „Stinkgräben“	Kontrollfläche	8,07	3,58	16,95	3,58	2,07	-11,30	2,07	-11,30
	Negativauslese	67,29	56,85	69,77	59,33	67,29	56,75	68,33	57,55
	mäßige positive Förderung	214,34	200,55	216,96	203,17	107,96	104,38	110,13	106,16
	starke positive Förderung	161,37	167,16	164,88	170,67	119,41	121,64	120,82	123,27
Bestand „Rindshügel“	Kontrollfläche	42,67	12,60	42,67	12,60	42,67	12,60	42,67	12,60
	Negativauslese	160,88	135,37	174,25	135,19	160,88	135,37	158,22	133,00
	mäßige positive Förderung	294,38	265,76	297,85	254,69	177,00	164,85	168,59	156,88
	starke positive Förderung	296,78	272,81	310,25	271,73	193,23	183,62	193,05	184,02
Bestand „Ochsenau“	Kontrollfläche	16,39	8,96	16,39	8,96	16,39	8,96	16,39	8,96
	Negativauslese	152,60	132,23	152,83	132,46	152,60	132,23	153,28	133,14
	mäßige positive Förderung	233,65	209,16	229,46	208,17	183,89	164,93	180,21	161,58
	starke positive Förderung	380,01	360,64	379,91	360,53	283,71	265,66	282,33	262,34

### **Einfluss des Zinssatzes**

Der Zinsfuß der acht Szenarien ist in der grundlegenden Analyse mit 2 % angesetzt. Für die Sensitivitätsanalyse wird der Zins in einem ersten Schritt auf 1 % halbiert. In einem zweiten Schritt wird der Zins auf 3 % erhöht, um eine intensive wirtschaftliche Betrachtungsweise des eingesetzten Kapitals abzubilden.

#### **Annuitäten bei einem Zins von 1 %**

Ein Zinssatz von 1 % bewirkt eine deutliche Steigerung der Annuitäten (Tabelle 5.11). Lediglich einzelne Szenarien in den Stilllegungsflächen bewirken negative und damit investitionskalkulatorisch ungünstige Annuitäten. Hierbei ist kein klares Muster erkennbar. Bei der Absenkung des Zins ergeben sich über alle Szenarien und Bestände sehr hohe absolute Beträge der Annuitäten von bis zu über 500 €/ha. Diese Werte sind sehr hoch und lassen sich über die hohen Abtriebswerte im Verhältnis zu gering verzinsten Kulturkosten erklären. Ihre Höhe an sich ist insbesondere im Vergleich zu den negativen Annuitäten der Kontrollflächen (Stilllegung) interessant, da sie hohe wirtschaftliche Leistungspotenziale zeigen, die durch Stilllegung nicht realisiert werden können.

#### **Annuitäten bei einem Zins von 3 %**

Erhöht man den Zinssatz von 2 % auf 3 %, so zeigen alle Behandlungsvarianten in den Beständen des Traubeneichenpflegeversuchs negative Annuitäten (Tabelle 5.12). Auch der in allen Analysen durchgehend wirtschaftlich erfolgreichste Bestand „Ochsenau“ in Behandlung „3“ in Wuchsszenario 1 weist mit -111,82 €/ha eine negative Annuität bei einem Zinssatz von 3 % auf. Die Eichenbestände können dieser hohen Forderung der Kapitalverzinsung nicht genügen. Auffällig ist, dass sich durch die Erhöhung des Zinses die Ergebnisse des grundlegenden Szenarios nicht so stark verändern als bei einer Zinsabsenkung. Die Erhöhung des Zins um eins von hundert führt im schlechtesten Fall zu einer Annuität von – 330,65 €/ha in Szenario 6 im Bestand „Stinkgräben“ in Stilllegung. Im grundlegenden Szenario betrug die Annuität bei einem Zins von 2% -215,87 €/ha.

Tab. 5.11: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Zinsfuß bei 1 %

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Z-Baumwachstum	durchschnittlich (average <sub>Tree</sub> )					x	x	x	x
	maximal (best <sub>Tree</sub> )	x	x	x	x				
Bestandeswachstum	degressiv (reduced <sub>Stand</sub> )		x		x		x		x
	linear (linear <sub>Stand</sub> )	x		x		x		x	
Durchforstungsintervall [a]	5			x	x			x	x
	10	x	x			x	x		
Bestand „Jockel“	Kontrollfläche	-4,42	-49,28	-4,42	-49,28	-4,42	-49,28	-4,42	-49,28
	Negativauslese	267,95	206,96	265,94	204,95	267,95	206,96	263,82	203,56
	mäßige positive Förderung	324,69	269,84	317,84	262,99	207,07	174,01	197,80	165,67
	starke positive Förderung	299,54	252,52	299,49	252,47	244,62	214,89	245,21	212,44
Bestand „Hehler“	Kontrollfläche	126,63	90,67	126,63	90,67	126,63	90,67	126,63	90,67
	Negativauslese	195,87	145,16	192,06	141,34	195,87	145,16	195,60	145,46
	mäßige positive Förderung	372,37	321,22	365,51	314,36	275,87	243,69	269,23	234,89
	starke positive Förderung	390,09	348,41	394,34	352,66	310,96	283,85	308,97	283,32
Bestand „Stinkgräben“	Kontrollfläche	-2,71	-19,95	31,36	-19,95	-25,75	-77,05	-25,75	-77,05
	Negativauslese	120,57	83,48	125,40	88,30	120,57	83,11	121,11	82,79
	mäßige positive Förderung	365,05	332,71	369,34	337,00	204,88	192,97	208,23	195,06
	starke positive Förderung	264,73	281,03	270,33	286,62	198,00	206,19	196,64	205,64
Bestand „Rindshügel“	Kontrollfläche	19,29	-51,78	19,29	-51,78	19,29	-51,78	19,29	-51,78
	Negativauslese	258,84	198,08	268,84	198,47	258,84	198,08	254,75	194,67
	mäßige positive Förderung	391,46	338,29	387,43	323,13	251,76	223,72	242,32	215,29
	starke positive Förderung	373,41	328,86	380,80	325,11	256,11	233,38	253,69	232,35
Bestand „Ochsenau“	Kontrollfläche	-35,26	-59,32	-35,26	-59,32	-35,26	-59,32	-35,26	-59,32
	Negativauslese	232,62	179,71	232,19	179,27	232,62	179,71	233,23	180,91
	mäßige positive Förderung	347,03	296,14	340,79	293,49	288,09	239,61	282,88	235,23
	starke positive Förderung	510,57	474,83	511,32	475,58	407,11	368,22	405,64	362,58

Tab. 5.12: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Zinsfuß bei 3 %

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 8
Z-Baumwachstum	durchschnittlich (average <sub>Tree</sub> )					x	x	x	x
	maximal (best <sub>Tree</sub> )	x	x	x	x				
Bestandeswachstum	degressiv (reduced <sub>Stand</sub> )		x		x		x		x
	linear (linear <sub>Stand</sub> )	x		x		x		x	
Durchforstungsintervall [a]	5			x	x			x	x
	10	x	x			x	x		
Bestand „Jockel“	Kontrollfläche	-323,07	-330,13	-323,07	-330,13	-323,07	-330,13	-323,07	-330,13
	Negativauslese	-257,31	-267,57	-257,59	-267,85	-257,31	-267,57	-258,89	-269,03
	mäßige positive Förderung	-204,21	-217,59	-208,84	-222,22	-254,71	-259,50	-261,28	-265,93
	starke positive Förderung	-201,53	-210,85	-199,39	-208,70	-222,06	-226,51	-221,68	-226,59
Bestand „Hehler“	Kontrollfläche	-309,08	-313,79	-309,08	-313,79	-309,08	-313,79	-309,08	-313,79
	Negativauslese	-279,84	-285,34	-280,10	-285,59	-279,84	-285,34	-279,66	-285,09
	mäßige positive Förderung	-203,99	-215,52	-208,35	-219,88	-245,19	-250,33	-249,69	-255,18
	starke positive Förderung	-173,75	-184,41	-171,64	-182,30	-215,02	-219,97	-214,36	-219,05
Bestand „Stinkgräben“	Kontrollfläche	-326,31	-327,31	-324,32	-327,31	-327,65	-330,65	-327,65	-330,65
	Negativauslese	-297,82	-300,37	-296,55	-299,09	-297,82	-300,39	-296,97	-299,59
	mäßige positive Förderung	-232,10	-237,45	-230,57	-235,92	-278,74	-279,69	-277,41	-278,45
	starke positive Förderung	-247,87	-246,05	-245,76	-243,94	-263,42	-262,90	-261,87	-261,29
Bestand „Rindshügel“	Kontrollfläche	-318,60	-330,17	-318,60	-330,17	-318,60	-330,17	-318,60	-330,17
	Negativauslese	-261,40	-271,12	-244,59	-271,46	-261,40	-271,12	-262,98	-272,59
	mäßige positive Förderung	-176,39	-190,86	-166,36	-198,54	-241,38	-246,18	-247,91	-252,53
	starke positive Förderung	-164,90	-177,03	-146,76	-176,59	-220,94	-224,64	-219,96	-223,43
Bestand „Ochsenau“	Kontrollfläche	-310,02	-312,02	-310,02	-312,02	-310,02	-312,02	-310,02	-312,02
	Negativauslese	-246,46	-253,50	-246,03	-253,07	-246,46	-253,50	-245,85	-252,81
	mäßige positive Förderung	-204,33	-215,08	-206,99	-215,77	-229,65	-236,32	-232,07	-238,63
	starke positive Förderung	-111,82	-121,70	-112,18	-122,06	-169,30	-177,00	-170,36	-178,90

### 5.3.2 Bodenertragswerte der Behandlungsvarianten bei Überschreiten der Zielstärke

Die Ergebnisse dieser Simulationsvarianten basieren darauf, dass die Versuchsbestände des Traubeneichenpflegeversuchs nicht erst zum Ende der Umtriebszeit eingeschlagen und sortiert werden. Ab dem Alter 20 Jahre werden die Bestände jedes Jahr hypothetisch abgetrieben und sortiert, jedoch für weitere Analysezwecke weiter in die Zukunft simuliert. Eine Wuchsfortschreibung mit Durchforstungseingriffen alle 10 Jahre erlaubt eine finanzielle Analyse jedes Versuchsbestands bis in das Alter 230 Jahre. Es findet somit ein Wachstum der Z-Stämme und der gesamten Bestände über den Zieldurchmesser hinaus statt. Dieser Simulationen wurde ein reduziertes bzw. degressives Bestandeswachstum zu Grunde gelegt. Alle eingehenden Prämissen wie Zins, Sortierung oder Kulturkosten sind an das grundlegende Szenario aus Kapitel 5.2 angelehnt. Aus den Erfahrungen der Simulationen in Kapitel 5.2 wurde auf eine Differenzierung des Pfl egeturnus verzichtet, da sich seine Wahl als finanziell nicht ausschlaggebend zeigte. Es wurde eine Durchforstung im Dezennium unterstellt. Das Z-Baum-Wachstum wurde zum einen im „best<sub>Tree</sub>-growth“- und zum anderen im „average<sub>Tree</sub>-growth“-Wachstum simuliert. Da in allen Simulationen über die Zielstärke hinaus immer mit der gleichen maximalen Umtriebszeit von 230 Jahren gerechnet wurde und die Varianten zu jedem Zeitpunkt  $t$  parallel dargestellt werden, wurden Bodenertragswerte und nicht Annuitäten zur Darstellung gewählt.

#### 5.3.2.1 Bodenertragswerte bei optimalem Z-Baum-Wachstum (best<sub>Tree</sub>-growth)

Abbildung 5.2 zeigt die Bodenertragswerte zu jedem Zeitpunkt  $t$  getrennt nach Versuchsbeständen und Pflegeregimen. In allen fünf Beständen zeigt sich, dass im Zuwachsgeschehen der Z-Stämme Klassensprünge hinsichtlich einer vom Markt finanziell höher bewerteten Durchmesserklasse zu verzeichnen sind. Besonders deutlich ist dies bei den intensiv geförderten Bäumen der Variante „starke positive Förderung“ ersichtlich. Je früher in ihrer Entwicklung die Bestände in Behandlung genommen wurden, desto früher treten diese Klassensprünge auf. Die jüngsten Bestände zeigen am schnellsten eine Wuchs- und damit Wertreaktion. Nur wenige Kombinationen aus Versuchsbestand und Behandlungsregime zeigen positive Bodenertragswerte. Lediglich für die starken positiven Förderungen in den Beständen „Hehler“, „Rindshügel“ und „Ochsenau“ ergaben sich positive Bodenertragswerte von maximal 5.200 €/ha. Kleinere „Unebenheiten“ im Kurvenverlauf zeichnen Durchforstungseinnahmen nach. Die Stilllegungsflächen zeigen Bodenertragswerte von etwa -5.000 €/ha im Maximum und fallen ansonsten weiter ab. Die klassischen Negativauslesen erreichen im Laufe ihres Wuchsverlaufs niedrige Grenzwerte zur Wirtschaftlichkeit, sie sind nicht einmal im Einzelfall wirtschaftlich vorteilhaft. Einzig die positiven Förderungen überschreiten oder nähern sich zumindest maximal der Grenzwerte zur Wirtschaftlichkeit an.

Der Zinseffekt in den über den eigentlichen Hiebszeitpunkt hinaus gewachsenen Stämmen zeigt sich am fallenden Charakter der Kurven nach einem standort-, alters- und behandlungsspezifischen Maximum. Eine negative Steigung der Kurven, spätestens nach einem letzten Klassensprung, ergibt sich in jeder einzelnen Simulation. Der einheitliche Verlauf der Kurven der Stilllegungsvarianten auf Muschelkalk zeigt keine Klassensprünge und verläuft sehr homogen. Erklärung hierfür ist der sehr frühe Ausfall der dominanten Eiche im Herrschenden und die konstante Bewertung der durchgewachsenen Buchenbestände mit dem Brennholzpreis.

Die Kurven zeigen einheitlich, dass spätestens nach dem letzten Klassensprung der Bodenertragswert wieder sinkt. Positive finanzielle Effekte des „Wachsen-Lassens“ über die Zielstärke hinaus sind nicht zu beobachten. Vielmehr erscheint es in Einzelfällen ratsam, bereits vor Erreichen der Zielstärke die Bestände zu nutzen, da keinerlei Zugewinne über die Zeit erwirtschaftet werden können (z.B. im Bestand Sinkgräben oder „Hehler“ im Pflegeregime Negativauslese). Angesichts marginaler Zugewinne kann ein verfrühter Einschlag aus diesen Analysen argumentiert werden. Das intensivste Pflegeregime des Traubeneichenpflegeversuchs, die starke positive Förderung, die minimale Umtriebszeiten anstrebt, ist nicht zwingend die wirtschaftlichste Variante in den jungen Traubeneichenbeständen. Gerade auf Buntsandstein mit den verhaltenen Zuwächsen erweist sich die mäßige positive Förderung als wirtschaftlich erfolgreicher und somit überlegen.

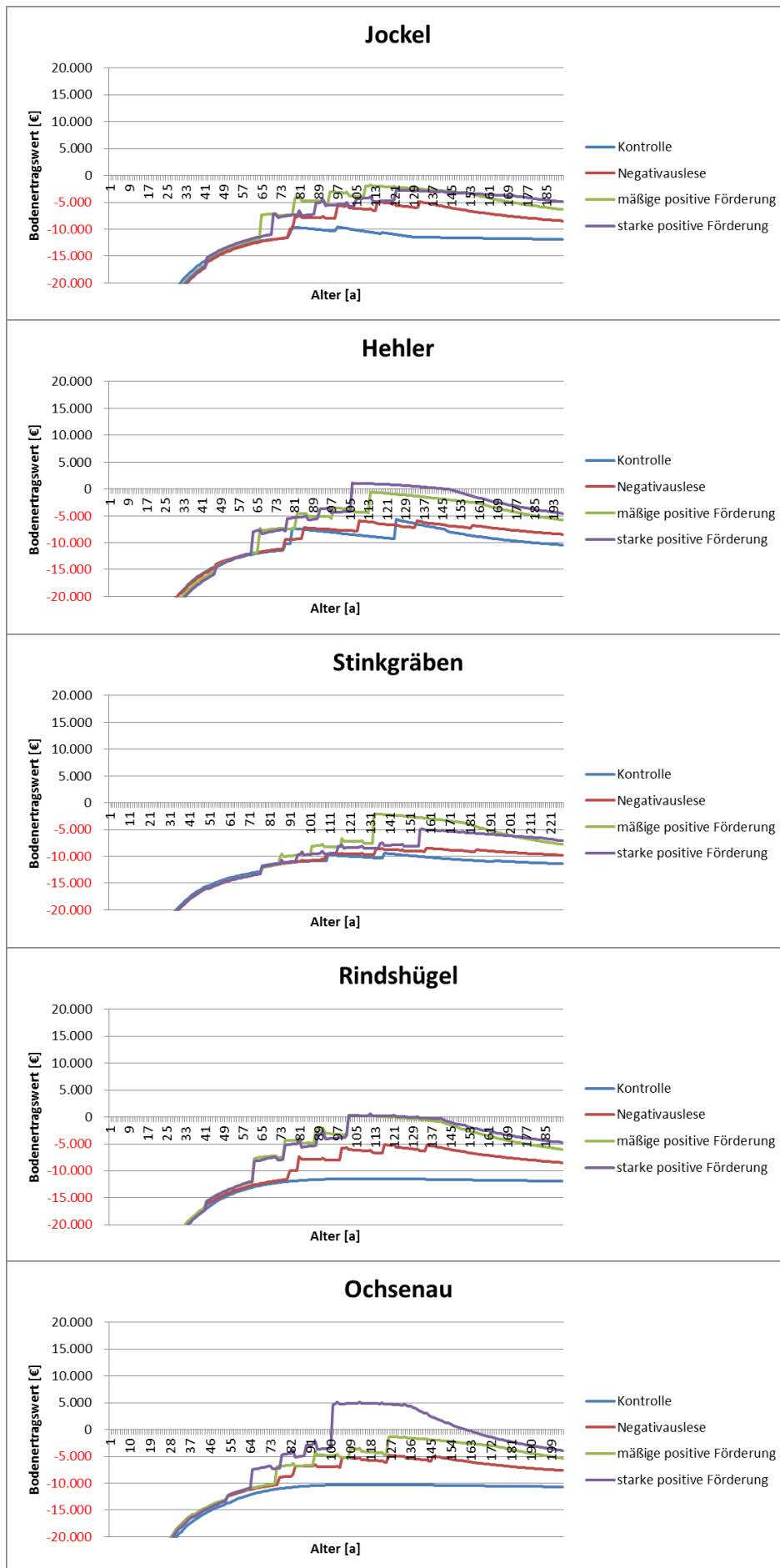


Abb. 5.2: Bodenertragswerte zu jedem Zeitpunkt t getrennt nach Versuchsbeständen und Pflegeregimen



### **Sensitivitätsanalysen des Bodenertragswertes bei optimalem Z-Baum-Wachstum (best<sub>Tree</sub>-growth)**

Entsprechend den Sensitivitätsanalysen der acht Wuchsszenarien aus Kapitel 5.3.1 werden für die Analysen, die über die eigentliche Zielstärke hinausreichen, ebenfalls Sensitivitätsanalysen angestellt. Hierbei werden analog zu Kapitel 5.2 alle Einflussfaktoren der Simulationen konstant gehalten und nur die Kulturkosten oder Zinssätze verändert.

### **Bodenertragswerte bei veränderten Kulturkosten**

Die Kulturkosten für die Analysen bei Überschreiten der Zielstärke sind in der grundlegenden Analyse mit 10.000 €/ha angesetzt. Für die Sensitivitätsanalyse werden die Kulturkosten in einem ersten Schritt auf 5.000 €/ha halbiert, um beispielsweise eine Pflanzung mit reduzierter Pflanzanzahl abzubilden. In einem zweiten Schritt wird Naturverjüngung simuliert, die Kulturkosten werden auf 0 €/ha reduziert.

### **Bodenertragswerte bei Kulturkosten von 5.000 €/ha**

Abbildung 5.3 zeigt die Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs bei Kulturkosten von 5000 €/ha unter sonst gleichen Simulationsprämissen. Der starke Einfluss der über die gesamte Zeit zu verzinsenden Kulturkosten wird bei ihrer Halbierung sehr deutlich. Waren in den ursprünglichen Analysen im Wachstumsgang „best<sub>Tree</sub>-growth“ kaum positive Bodenertragswerte zu erwirtschaften, so sind bei Halbierung der Kulturkosten wesentlich mehr Szenarien wirtschaftlich lohnenswert. Insbesondere auf den Buntsandsandsteinstandorten mit ihrem im Vergleich zu den Muschelkalkstandorten langsameren Wachstum der Eichen äußert sich dies deutlich. Selbst im ältesten Versuchsbestand „Stinkgräben“ können bei positiver Förderung von Z-Stämmen positive Ergebnisse erzielt werden, wenngleich diese absolut auf geringem Niveau liegen. Die Negativauslesen nähern sich der Nulllinie und zeigen sich zumindest nicht so defizitär wie in der Basisanalyse. Die Kontrollvarianten verlaufen sehr ausgeglichen, da es durch die Stilllegung keine Durchforstungseinnahmen gibt. Die Kurven fallen stetig und überschreiten die Nulllinie nie. Für die Kontroll- bzw. Stilllegungsvarianten treten Klassensprünge nur vereinzelt auf. Die akkumulierte Eichenwertholzmasse kann (vor ihrem Ausfall durch die Buchenkonkurrenz) die fehlenden Durchforstungseinnahmen nicht kompensieren. Auffallend ist, dass je nach Versuchsbestand und dem physiologischen Alter, in dem die Eichen in Behandlung genommen wurden, Klassensprünge in ihrer finanziellen Wirkung angesichts der Zinseffekte verpuffen können. Als Beispiel kann hierfür die Negativauslese in den auf Muschelkalk stockenden Beständen herangezogen werden. Zwar treten Klassensprünge aufgrund des Erreichens von höher bezahlten Dimensionen beim Wertholz auf, doch oszilliert die Kurve stetig um den Nullpunkt. Die früh gepflegten Bäume

erreichen diesen Punkt früher als die später in Behandlung genommenen, der Kurvenverlauf ähnelt sich aber in Folge sehr.

### **Bodenertragswerte bei Kulturkosten von 0 €/ha**

Die Kulturkosten wurden für diese Sensitivitätsanalyse auf 0 €/ha gesenkt. Zeigte sich der Einfluss von Kulturkosten im Kontext von sehr langen und für die Eichenwirtschaft typischen Verzinsungszeiträumen bei Kulturkosten von 5.000 €/ha bereits deutlich, so wird dieser Effekt bei einer Reduktion der Kosten auf 0 €/ha noch offensichtlicher. Alle Durchforstungsregimes in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs erbringen positiv erreichbare Bodenertragswerte. Auch die Kontrollflächen zeigen positive Bodenertragswerte. Die Unterschiede zwischen den Kurvenverläufen verdeutlichen allerdings, dass die wirtschaftliche Umsetzung des Arbeitens mit „kostenloser“ Naturverjüngung in den unterschiedlichen Pflegeregimes zu sehr unterschiedlichen wirtschaftlichen Endergebnissen führt. Über 13.000 € als Delta im Bodenertragswert bei gleicher Ausgangsvoraussetzung machen klar, dass das gewählte Behandlungsregime maßgeblich darüber entscheidet, wie die finanzielle Leistung eines Eichenbestandes ausfällt.

Die positiven Pflegeeingriffe liegen den Kurvenverläufen nach immer über den Negativauslesen und den Kontrollflächen. Klassensprünge sind gut erkennbar, in den Negativauslesen allerdings vermögen sie es nicht höhere Bodenertragswerte über die Zeit generieren. Zinseffekte „fressen“ die Klassensprünge auf. Die Kurven zeigen hier explizit die Vorteilhaftigkeit verfrühter Ernte vor Erreichen des Zieldurchmessers. Ein pauschaler Zieldurchmesser kann also den Beständen in den jeweils vier Durchforstungsregimes nicht zugeordnet werden. Vielmehr ist es so, dass abhängig von der Behandlungsart und den daraus resultierenden Wuchsgeschwindigkeiten und Einnahmen aus Durchforstungserlösen individuell finanz-optimale Zieldurchmesser errechnet werden müssen. Diese können bei 70 cm liegen (für die positiven Auslesen), können aber auch deutlich geringer ausfallen.

Im Bestand „Hehler“ schafft es die Kontrollvariante sich im Alter 80 Jahre wirtschaftlich erfolgreicher darzustellen als die Negativauslese, obgleich keinerlei Durchforstungserlöse erwirtschaftet werden. Auffällig ist auch, dass es nicht die intensivste Förderungsvariante ist, die zu frühzeitig absolut höchsten Bodenertragswerten führt. Die mäßige positive Auslese zeigt sich in drei von fünf Beständen als die finanziell attraktivere Variante. Festzuhalten ist, dass bei erfolgreicher Ausnützung von Naturverjüngung und der Wahl des optimalen Pflegeregimes Bodenertragswerte von über 10.000 €/ha erwirtschaftet werden können. In Einzelfällen kann dieser Betrag noch höher ausfallen (Bestand „Ochsenau“ im intensivsten Durchforstungsregime, vgl. Abb. 5.4). Der Effekt des Wachsen Lassens über die eigentliche Zielstärke hinaus äußert sich auch bei kostenloser Verjüngung in stetig fallenden

Kurvenverläufen nachdem die Zielstärke erreicht wurde. Es ist also unabhängig von der Höhe der Kulturkosten ein finanzieller Aufwand die Umtriebszeit zu verlängern.

### **Bodenertragswerte bei veränderten Zinssätzen**

#### **Bodenertragswerte bei einem Zins von 1 %**

Der Zins als zentrale Stellschraube einer finanzmathematischen Betrachtung der Eichenwirtschaft zeigt seine intensive Einwirkung auf die finanzielle Leistungsfähigkeit der Eichenbestände, wenn man ihn halbiert. Zinseffekte werden so sehr gut deutlich. Bei einem Zinsfuß von 1% ergibt sich, dass sehr hohe Bodenertragswerte von über 50.000 €/ha erreichbar sind („Ochsenau“ im intensivsten positiven Pflegeregime). Gleichzeitig führt Zinssenkung in den Kontrollvarianten dennoch nicht zu positiven wirtschaftlichen Ergebnissen. Lediglich im Bestand „Hehler“, der die geringste Eichenausfallrate des Traubeneichenpflegeversuchs aufwies (vgl. Abb. 5.5), zeigt sich ein Klassensprung, der zu positiven Bodenertragswerten führt. Dieser positive Bodenertragswert fällt aber bei längeren Umtriebszeiten ebenfalls unter die Nulllinie. Stilllegungen offenbaren sich somit trotz geringerer Zinsforderung wirtschaftlich unvorteilhaftig.

Alle anderen Pflegeregimes weisen deutlich Klassensprünge auf, die unter Beachtung von Zinseffekten zu stetig steigenden Kurvenverläufen in der Darstellung des Bodenertragswertes über die Zeit führen. Verfrühte Nutzungen vor dem Erreichen des Zieldurchmessers lassen sich aus den Kurvenverläufen nicht argumentieren. Analog zu den bereits dargestellten Analysen fallen die Kurven nach Erreichen der Zielstärke wieder. Ein Überschreiten der Zielstärke ist unter den gewählten Simulationsprämissen demnach unvorteilhaftig.

Auffällig ist im Bestand „Jockel“, dem jüngsten Bestand auf Buntsandstein, dass bis zum Alter von etwa 120 Jahren die Negativauslese und die intensive positive Förderung alternierend zu sehr guten finanziellen Ergebnissen führen, wobei beiden Varianten die mäßige positive Auslese überlegen ist. Erst ab dem Alter 120 setzt sich die intensive positive Förderung gegenüber der Negativauslese finanziell positiv ab. Es lässt sich auch feststellen, dass die positive Pflege teilweise sehr parallele bis deckungsgleiche Kurvenverläufe aufweisen. Dies ist insbesondere im Bestand „Rindshügel“ zu beobachten. Hier ist die Wahl zwischen den beiden Pflegemodellen aus finanzieller Sicht nachrangig, da beide zu vergleichbar guten finanziellen Resultaten führen.

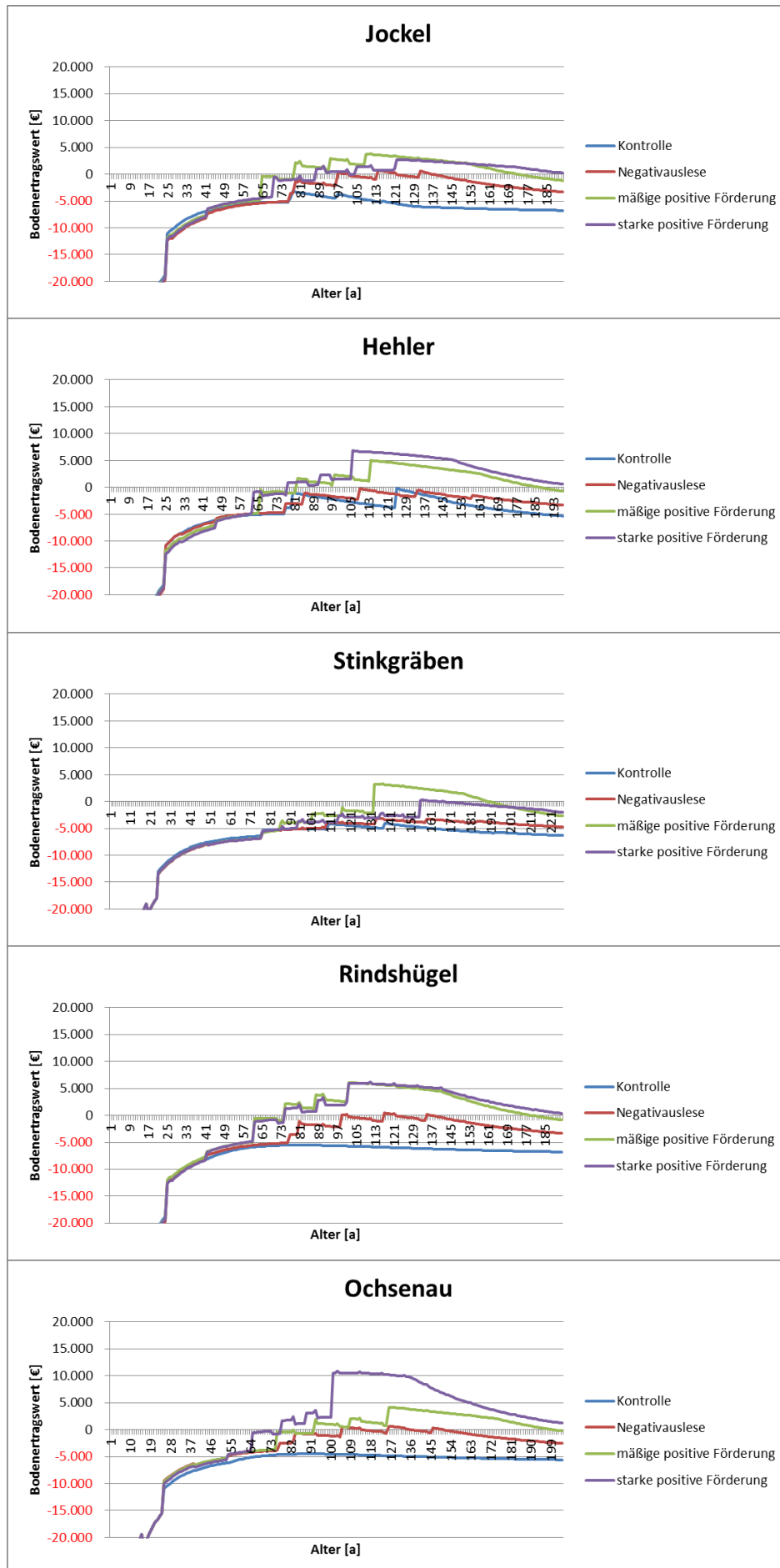


Abb. 5.3: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs bei Kulturkosten von 5000 €/ha

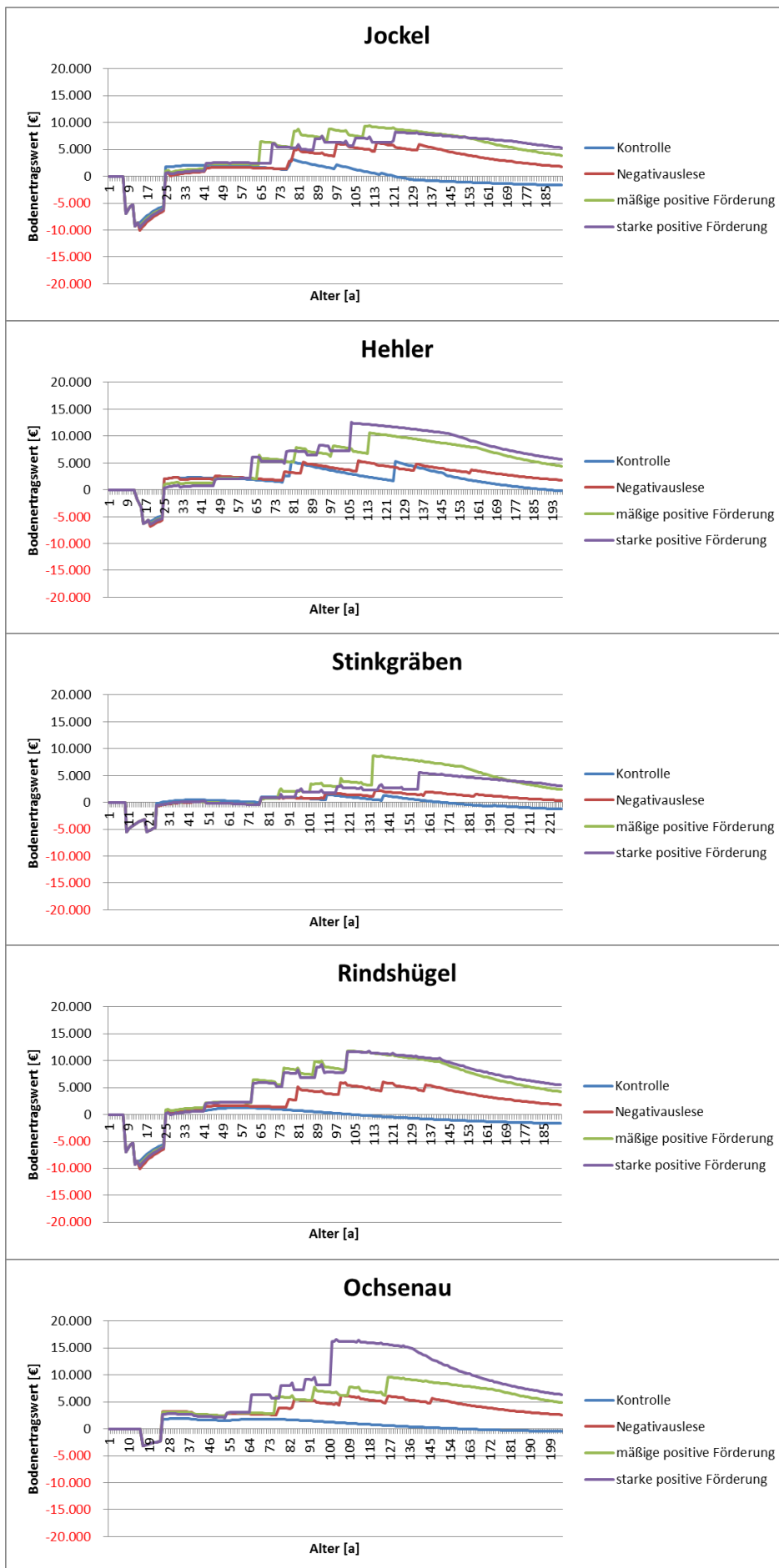


Abb. 5.4: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs bei Kulturkosten von 0 €/ha

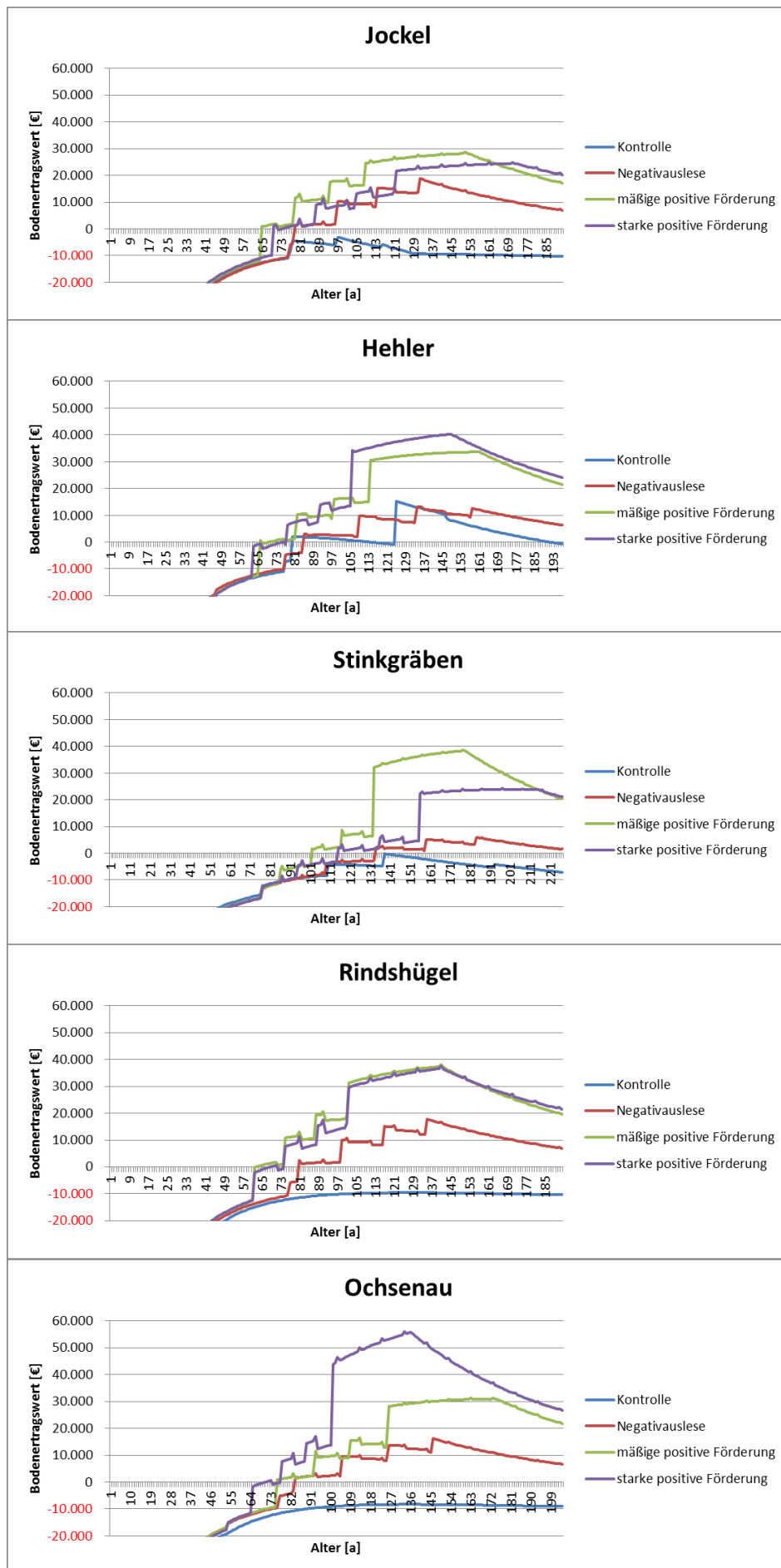


Abb. 5.5: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei einem Zinssatz von 1%

**Bodenertragswerte bei einem Zins von 3 %**

Ein Zinsfuß von 3% führt zu durchgehend negativen Bodenertragswerten für die simulierten Eichenbestände (Abbildung 5.6). Die Eichenbestände können diese hohe Erwartung an die Verzinsung des Kapitals nicht erfüllen. In dem Maße, in dem die Reduktion des Zinsfußes im vorherigen Kapitel zu positiven Wirtschaftsergebnissen führte, senkt eine Erhöhung des Zinses die finanzielle Leistungsfähigkeit.

Die Darstellung der Bodenertragswerte der vier Behandlungsvarianten pro Versuchsbestand führt zu Kurven, die sehr eng aneinander liegen. Der Zinseffekt überdeckt offensichtlich andere Faktoren und wirkt so stark, dass er die Behandlungsvarianten eng aneinander führt. Dies äußert sich auch in relativ kleinen Klassensprüngen. Das Einwachsen in eine finanziell höher bewertete Stärkeklasse zeigt nicht so starke Wirkung wie bei geringerer Zinsforderung. Die Negativauslesen zeigen wieder relativierte Klassensprünge ob der Zinskosten, so dass ein verfrühter Einschlag finanziell sinnvoll erscheint.

Die Kontrollvarianten laufen auffallend synchron in allen fünf Versuchsbeständen und liegen in etwa bei einem Bodenertragswert von -10.000 €/ha. Die positive intensive Förderung führt im besten Fall (Bestand „Ochsenau“) zu einem Bodenertragswert von -5.000 €/ha. Alle Kurven fallen zum Ende der Simulationszeit wieder ab. Dies ist ein Zeichen dafür, dass ein Überschreiten der Zielstärke wirtschaftlich als Aufwand verbucht werden muss und unabhängig von der geforderten Kapitalverzinsung unvorteilhaft ist.

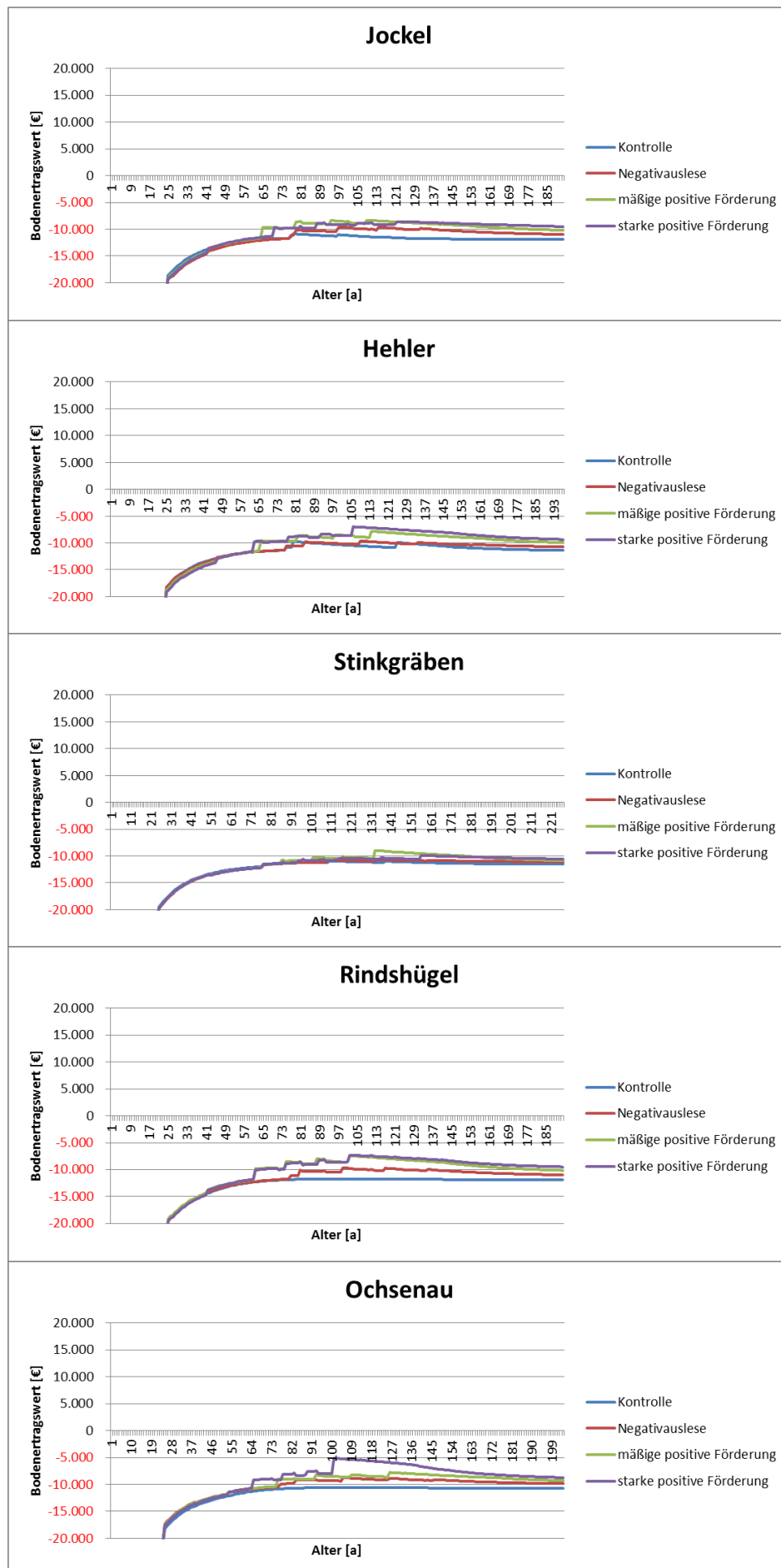


Abb. 5.6: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei einem Zinssatz von 3%



### 5.3.2.2 Bodenertragswerte bei mittlerem Z-Baum-Wachstum (average<sub>Tree</sub>-growth)

Die Analysen der finanziellen Bestandeswerte, ausgedrückt über den Bodenertragswert zu jedem Zeitpunkt  $t$ , wurden wie in Kapitel 5.3.1 errechnet und werden im Folgenden auch in gleicher Weise mittels Sensitivitätsanalysen dargestellt. Allerdings basieren die folgenden Analysen auf einem anderen Wachstumsmodell der einzelnen Z-Stämme. Für das Wachstum der Z-Stämme wurde das average<sub>Tree</sub>-growth-Modell herangezogen, wohingegen in Kapitel 5.3.1 das best<sub>Tree</sub>-growth-Modell Anwendung fand. Eine detaillierte Differenzierung der Wachstumsgänge findet sich in Kapitel 5.2.1 beschrieben. Grundsätzlich ist die Differenzierung dadurch gekennzeichnet, dass die Z-Stämme im Average<sub>Tree</sub>-growth-Modell mittels schmalerer Jahrringe langsamer wachsen als im best<sub>Tree</sub>-growth-Modell. Für gleiche Zieldurchmesser benötigen die Bäume in den jeweiligen Pflegeregimes in den fünf Versuchsbeständen also längere Zeit.

Der Faktor Zeit lässt sich aus den Diagrammen in Abbildung 5.7 im Vergleich zur Abbildung unter gleichen Verhältnissen im anderen Wuchsszenario (Abbildung 5.2) gut erkennen. In allen Pflegeregimes der fünf Versuchsbestände liegen die Kurven, die den jeweiligen Bodenertragswert zu jedem Zeitpunkt  $t$  zeigen, eng aneinander. Klassensprünge treten als treppenartige Stufen in den Kurvenverläufe auf; sie sind aber weniger stark ausgeprägt als beim best<sub>Tree</sub>-growth-Szenario. Grund hierfür sind Zinsfußeffekte, die die weit in der Zukunft liegenden Klassensprünge relativieren und aufgrund der späten finanziellen Wirksamkeit in ihrer Wirkung reduzieren.

Die vier zu unterscheidenden Pflegeregimes verhalten sich insoweit sehr einheitlich, als dass die Kontrollvarianten stets die geringsten Bodenertragswerte aufweisen und nicht zu positiven Wirtschaftsergebnissen führen. Egal zu welchem Zeitpunkt  $t$  im Bestandesleben die Kontrollvariante analysiert wurden, lieferten sie keinen Ertrag. Ähnlich verhält sich die Negativauslese, die zwar absolut zu weniger hohen Verlusten führt, sich aber auch als finanziell unattraktiv zeigt. Allein die positiven Auslesen schaffen es die Nulllinie zu überschreiten und zeitweilig im Bestandesleben positive Bodenertragswerte zu generieren. Die absolute Höhe ist aber im Bestand „Rindshügel“ vernachlässigbar gering, im Bestand „Ochsenau“ hingegen mit 7.870 € pro Hektar bemerkenswert hoch. Zinseffekte lassen aber die positiven Bodenertragswerte wieder sinken und rasch wieder negativ werden. Dies zeigt, dass ein zu langer in die Zukunft fortgeschriebener Nutzungsverzicht von mäßig wüchsigen Traubeneichenbeständen Werte vernichtet und wirtschaftlich als Aufwand zu werten ist.

Effekte des physiologischen Alters, in dem die Traubeneichenbestände in Behandlung genommen wurden, sind in Abbildung 5.7 nicht eindeutig zu erkennen. Lediglich die am spätesten in Behandlung genommen Einzelparzellen des Versuchsbestands „Stinkgräben“ weisen die gestrecktesten und damit am wenigsten reaktiven Kurvenverläufe auf. Die

ehemaligen Dickungen und Stangenhölzer sind nicht eindeutig zu charakterisieren, sie verhalten sich heterogen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass lediglich jene Wuchsregime mit positiven Wirtschaftsergebnissen aufwarten können, die positiv gefördert wurden. Vor einem Alter von mindestens 120 Jahren ist allerdings nicht mit Gewinnen zu rechnen. Die Zeitfenster für eine wertoptimale Nutzung sind eng und in der Gesamtschau enger als im  $\text{best}_{\text{Tree-growth}}$ -Modell.

### **Sensitivitätsanalysen bei mittlerem Z-Baum-Wachstum ( $\text{average}_{\text{Tree-growth}}$ )**

Für die ausgewählten Parameter Kulturkosten und Zinsfuß werden Sensitivitätsanalysen im Wuchsmodell  $\text{average}_{\text{Tree-growth}}$  durchgeführt. Ziel dieser Analysen ist es darzustellen, welche wesentlichen Stellschrauben auf die finanzielle Leistungsfähigkeit von Eichenbeständen wirken.

### **Bodenertragswerte bei veränderten Kulturkosten**

Im Folgenden werden die Kulturkosten einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. In einem ersten Schritt wird ein für die Eichenwirtschaft extensiviertes Pflanzprogramm mit Kosten von 5.000 €/ha simuliert. In einem zweiten Schritt werden die Kulturkosten auf 0 €/ha gesenkt, um eine kostenlose Naturverjüngung zu simulieren.

### **Reduzierte Kulturkosten von 5.000 €/ha**

Abbildung 5.8 zeigt die Bodenertragswerte zu jedem Zeitpunkt  $t$  im Bestandesleben der fünf Versuchsbestände des Traubeneichenpflegeversuchs in den jeweils 4 Behandlungsvarianten wie im vorangegangenen Kapitel, allerdings bei halbierten Kulturkosten von 5.000 €/ha. Führt die Halbierung der Kulturkosten im Wuchsszenario  $\text{best}_{\text{Tree-growth}}$  dazu, dass die meisten Kurvenverläufe positiv wurden, so ist dieser Effekt im  $\text{average}_{\text{Tree-growth}}$ -Modell in dieser Form nicht zu beobachten. Trotz der günstigeren Voraussetzung, dass verminderte Investitionskosten zur Bodenertragswertberechnung verzinst werden müssen, liegen dennoch viele Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs im negativen Bereich. Bis zu einem Alter von etwa 120 Jahren pendeln die Kurvenabbildungen des Bodenertragswertes in allen Behandlungsregimes um den Nullpunkt. Erst ab diesem Alter, infolge von Klassensprüngen, verschieben sich vereinzelt Behandlungsregimes in den positiven Diagrammbereich. Dies sind insbesondere die beiden positiven Förderungen, aber auch die Negativauslese. Diese aber auf geringem absolutem Niveau.

Die Negativauslese im Bestand „Jockel“ (ehemalige Dickung auf Buntsandstein) zeigt einen auffallenden Verlauf, bei dem ab dem Alter 78 Klassensprünge auftreten. Diese werden aber

in ihrer Wirkung vom angelegten Zinsfuß derart gepuffert, dass ein Einschlag im Alter 78 Jahre gerechtfertigt erscheint.

Im Bestand „Stinkgräben“ kann aufgrund der sehr langen Produktionszeiten finanziell nicht von der Halbierung der Kulturkosten profitiert werden. Hier bleiben alle Bodenertragswerte bis auf einen Einzelnen zu jedem Zeitpunkt  $t$  negativ. Wirtschaftlich erfolgreiches Handeln ist in diesem Bestand mit keinem der dargestellten Behandlungsregimes möglich.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die sich aus der reduzierten Wuchskraft der Z-Stämme ergebende längere Wuchsdauer zinswirksam ist. Halbierte Kulturkosten können diese im Vergleich zum  $\text{best}_{\text{Tree-growth}}$ -Szenario erhöhten Zeit- und Zinskosten nicht vollständig kompensieren. Weiterhin eng aneinander liegende und weniger stark differenzierte Kurvenverläufe mit Großteils negativem Vorzeichen sind die Folge.

### **Reduzierte Kulturkosten von 0 €/ha**

Eine Fortführung der Sensitivitätsanalysen aus dem vorherigen Kapitel erfolgt, wenn im Folgenden die Kulturkosten auf 0 €/ha reduziert werden und Naturverjüngung simuliert wird. Abgebildet werden die Ergebnisse dieser Analyse in Abbildung 5.9.

Es zeigen sich durchschlagendere Effekte als bei der Halbierung der Kulturkosten auf 5.000 €/ha im vorangegangenen Kapitel. Dies unterstreicht die wesentliche Bedeutung der Anfangsinvestitionen in der Eichenwirtschaft, insbesondere bei langen Umtriebszeiten, die in diesem Wuchsszenario durch schmälere Jahrringe angesetzt sind.

Alle Behandlungsregimes der fünf untersuchten Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs liegen zumindest zeitweise im positiven Bereich. Der Extremwert der 20 Kurven, die den Bodenertragswert zu jedem Zeitpunkt  $t$  abbilden liegt bei 379,59 €/ha in der starken positiven Förderung im Bestand „Ochsenau“. Aber auch die anderen Bestände (außer „Stinkgräben“ auf Buntsandstein) zeigen Bodenertragswerte von über 200 €/ha. Schlägt man zum optimalen Zeitpunkt ein, so lassen sich angesichts der kostenneutralen Naturverjüngung im Verhältnis zu den vorangegangenen Analysen relativ hohe Gewinne in den Traubeneichenbeständen generieren.

Interessanterweise führt im Bestand „Jockel“ die Negativauslese vor den positiven Förderungen durch Klassensprung zu einem maximalen Bodenertragswert, der einen wirtschaftlich argumentierten Einschlag rechtfertigen würde. Dieser liegt mit 8.174 €/ha im Alter 134 Jahre nur um 578 €/ha niedriger als im Pflegeregime „3“ mit 8.752 €/ha, allerdings wird er sieben Jahre früher erreicht. Unter der Prämisse von kostenloser Naturverjüngung und den ansonsten konstant gehaltenen Rahmenbedingungen der Simulation ist es aus finanzieller Sicht unerheblich, wie die Traubeneichenbestände in diesem Bestand bewirtschaftet werden. Auffällig ist auch, dass alle drei aktiven Durchforstungsregimes im Bestand „Rindshügel“ sehr synchrone Kurvenverläufe zeigen. Jedoch sind die absoluten Unterschiede in den

Extremwerten der Kurven so deutlich, dass einer positiv ausgerichteten Pflege der Vorzug gegeben werden sollte. Die Kontrollflächen des Traubeneichenversuchs, die eine Stilllegung simulieren, zeigen stetig fallenden Charakter, der kaum von Klassensprüngen beeinflusst ist. Lediglich im Bestand „Hehler“ verläuft die Kurve kantiger. Grund hierfür ist der langsamste Eichenausfall aufgrund von Buchenkonkurrenz in allen fünf Versuchsbeständen. Die Annahme, dass Buche lediglich in Brennholzqualität nachwächst, lässt die Bestände nicht an Wert gewinnen und nach einem frühzeitig erreichten Maximum stetig an Wert verlieren.

Ist die finanzielle Analyse bei unterstellter kostenloser Naturverjüngung insgesamt als sehr günstig für Eichenbestände einzuwerten, so ist dennoch auffällig, dass, insbesondere auf Muschelkalk, kaum vor einem Alter von 120 bis 130 Jahren nennenswertere Bodenertragswerte eine Nutzung rentabel erscheinen lassen. Das unterstellte langsame Wachstum der Z-Stämme bedingt in finanzieller Hinsicht verringerte Ansprüche an die Wirtschaftlichkeit.

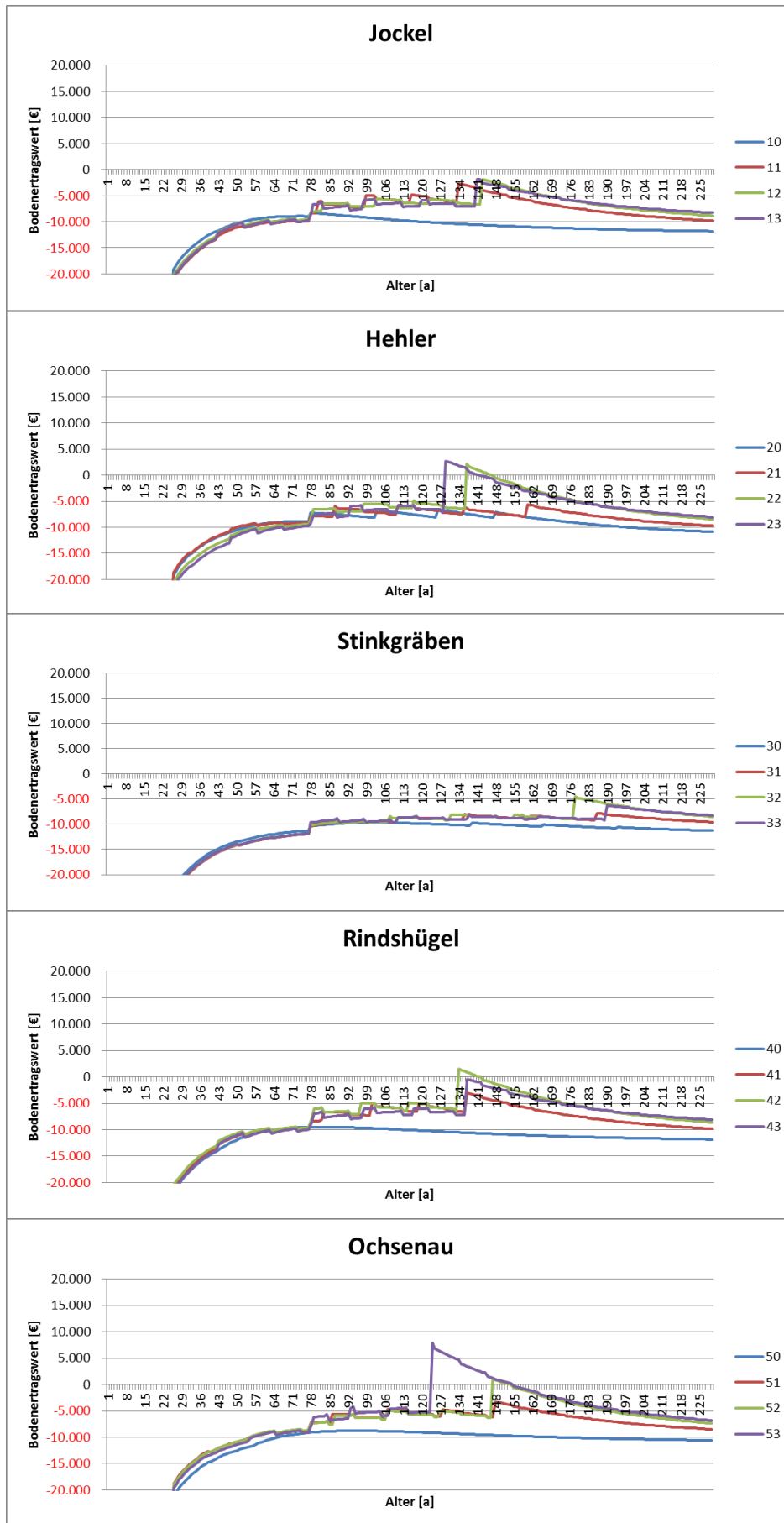


Abb. 5.7: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei mittlerem Z-Baum-Wachstum (averageTree-growth)

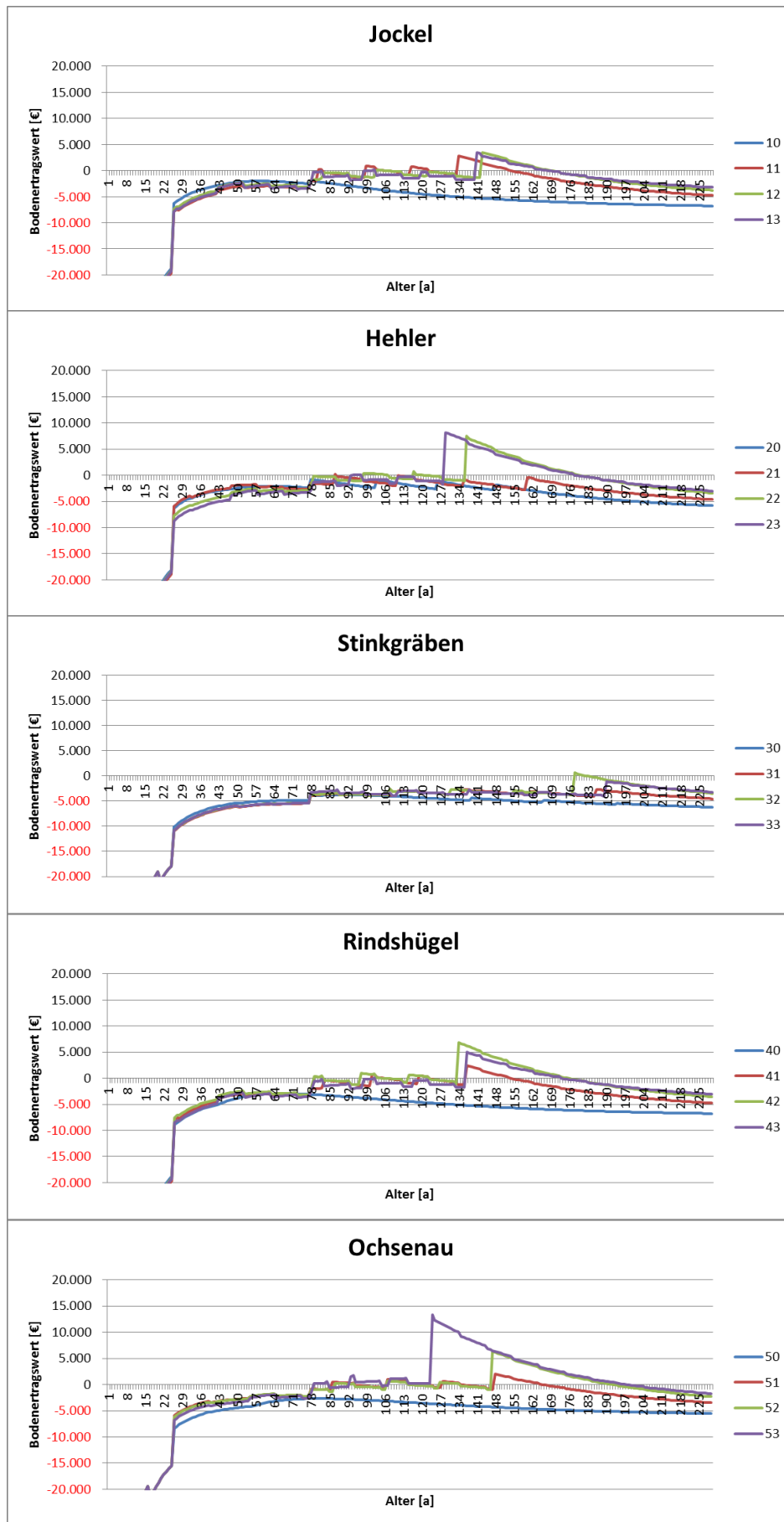


Abb. 5.8: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei halbierten Kulturkosten von 5.000 €/ha

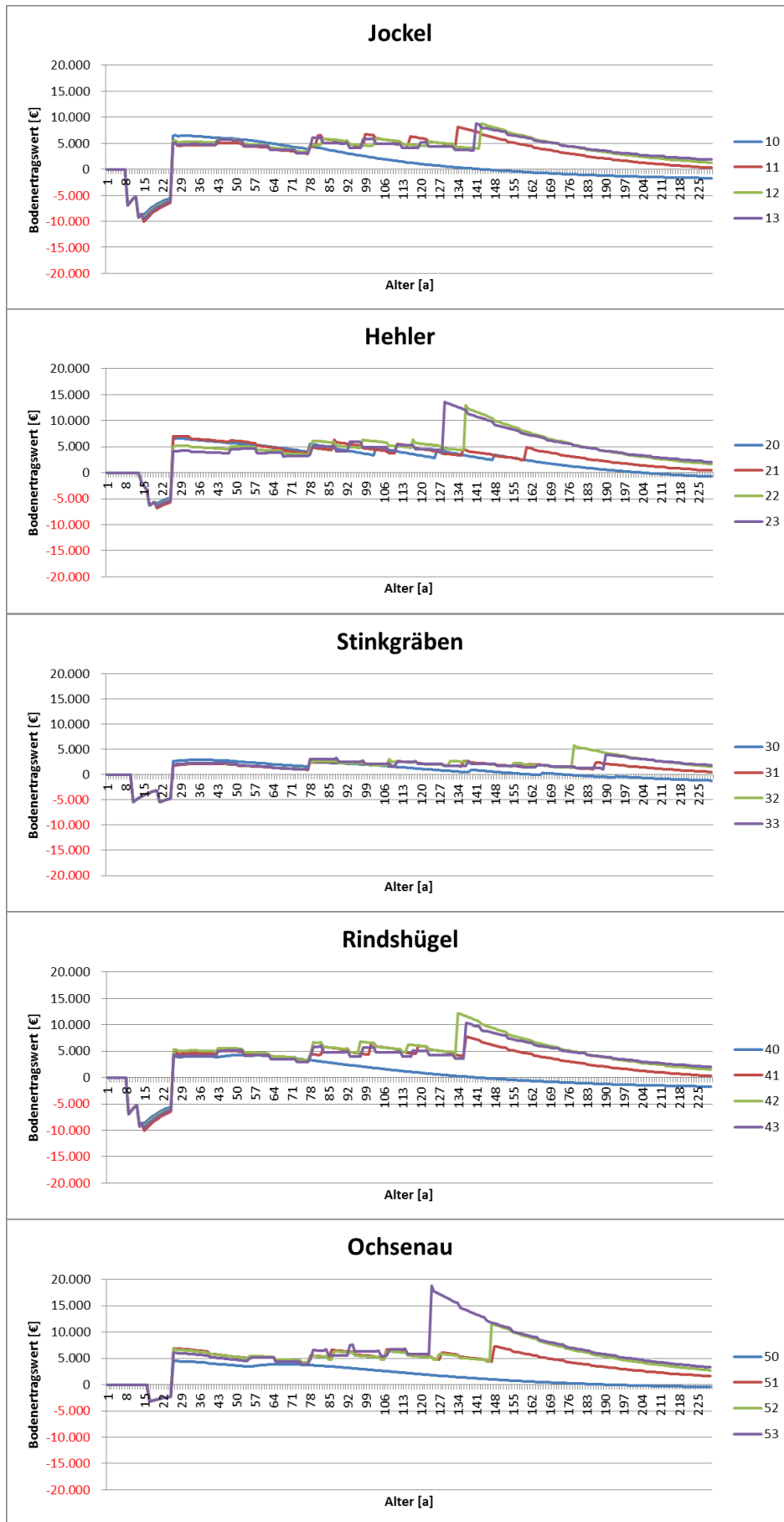


Abb. 5.9: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei Kulturkosten von 0 € /ha

### **Bodenertragswerte bei veränderten Zinssätzen**

Im Folgenden werden zwei Sensitivitätsanalysen dargestellt, bei denen der Zinsfuß verändert wurde. In der ersten wird der Zins auf 1% halbiert, in der zweiten um 1% auf 3% erhöht. Alle anderen Parameter der Simulationen (Umtriebszeiten, Kulturkosten, Durchforstungsintervall und finanzielle Bewertung von Holzsortimenten) sind identisch mit dem Grundszenario im average<sub>Tree</sub>-growth-Modell.

### **Bodenertragswerte bei einem Zinssatz von 1%**

Für diese Sensitivitätsanalyse wurde der Zinssatz halbiert (vgl. Abbildung 5.10). Er beträgt nun 1%. Er führt zu ähnlichen Kurvenverläufen wie die Reduktion der Kulturkosten auf 0 €/ha. Allerdings werden bei reduziertem Zinssatz höhere absolute Bodenertragswerte erreicht, der Extremwert liegt bei 67.719 €/ha im Bestand „Ochsenau“ in der intensiven positiven Auslese. Weiterhin zeigen sich die Kurvenverläufe im Vergleich zu kostenloser Verjüngung darin ähnlich, dass im Bestand „Rindshügel“ sehr deckungsgleiche Verläufe der aktiven Durchforstungsregimes zu erkennen sind. Auch im Bestand „Jockel“ gibt es Ähnlichkeiten, die Negativauslese stellt dort eine wirtschaftlich attraktive und akzeptable Option dar. In den anderen in dieser Studie dargestellten Simulationsläufen war dies nicht so. Darüber hinaus erweisen sich die Kontrollflächen als zumindest zeitweise wirtschaftlich attraktiv. Würde man von der Stilllegung der Bestände abrücken ergäben sich Zeitfenster, in denen man finanziell optimiert nutzen könnte.

Allen 20 Kurven ist gemein, dass trotz geringer Zinsforderung das Überschreiten eines behandlungs- und bestandesspezifischen Einschlagzeitpunktes wirtschaftlich als Aufwand zu verbuchen ist. Der fallende Charakter der Kurven zum Ende des dargestellten Simulationszeitrahmens hin bestätigt dies.

Auch kann ein verringerter Anspruch an die Verzinsung des eingesetzten Kapitals im Bestand „Stinkgräben“ die Auswirkungen des langsamen Wuchses nicht kompensieren. Zwar zeigen die aktiven Durchforstungsregimes in diesem Bestand zum Ende des Simulationszeitrahmens positive Bodenertragswerte, doch ist die Umtriebszeit mit über 170 Jahren verhältnismäßig lang.



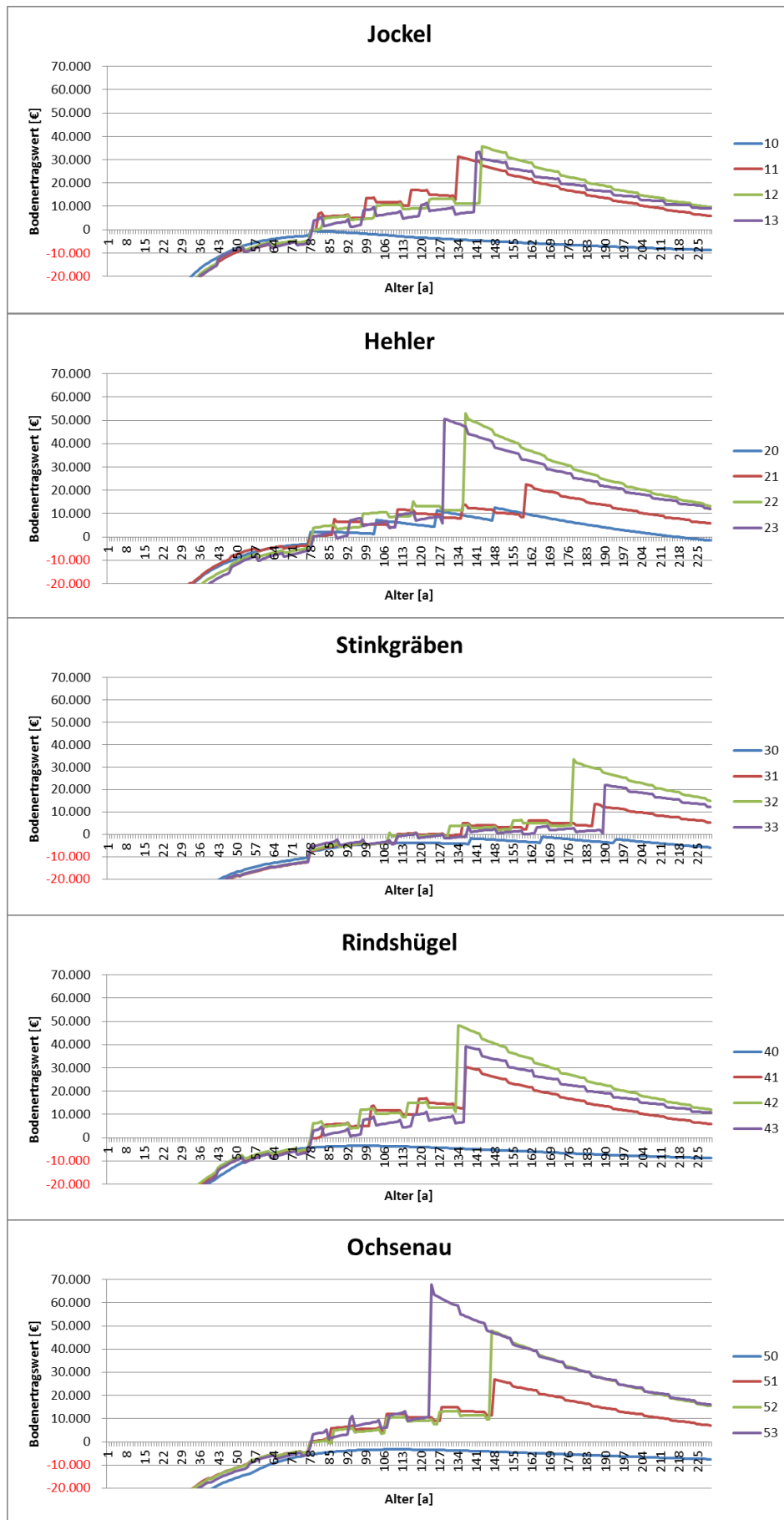


Abb. 5.10: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei 1%

### **Bodenertragswerte bei einem Zinssatz von 3%**

Analog zum Vorgehen im vorangegangenen Kapitel wird nun der Zinssatz für die Analyse manipuliert, allerdings wird er auf 3% erhöht. Hintergrund hierfür ist die Abbildung eines strengen Maßstabs mit hoher Erwartungshaltung an die wirtschaftliche Leistung des eingesetzten Kapitals. Die Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 5.11 dargestellt.

Die 20 Kurven, die die Bodenertragswerte zu jedem Zeitpunkt  $t$  der jeweiligen vier Behandlungsvarianten im Traubeneichenpflegeversuch darstellen, liegen allesamt im negativen Bereich. Gewinne sind unter einer Zinsforderung von 3% nicht zu generieren.

Auffallend ist, dass die Verläufe der Kurven eng liegen. Differenzierungen zwischen den Behandlungsvarianten treten zurück. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu den im Vorfeld dargestellten Simulationen und Sensitivitätsanalysen, in denen fallweise Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten hervorgehoben und vergrößert wurden. Auch Klassensprünge spielen keine große Rolle mehr. Die Kurvenverläufe sind insgesamt harmonisiert und verlaufen sehr stetig. Die absoluten Unterschiede auf Ebene des Bestandes sind zwar insgesamt relativiert, aber dennoch spielt die Wahl des Durchforstungsregimes eine Rolle bei der Vermeidung von Verlusten. Im Bestand „Jockel“ ist es hierbei unerheblich, welche Art der Behandlung gewählt wird, im Bestand „Ochsenau“ hingegen empfiehlt es sich mit Pflegeregime „3“ zu wirtschaften.

Das Alter, in dem die Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs in Behandlung genommen wurden, äußert sich im Kurvenverlauf. Je enger und paralleler die Kurven verlaufen, desto weniger differenziert konnten die verschiedenen Arten der Behandlung wirken. Dies wird besonders im Bestand „Stinkgräben“ ersichtlich, der fast keine Differenzierung der Kurven zulässt. Die in jüngeren physiologischen Altern gepflegten Bestände zeigen zumindest ansatzweise Differenzierungen, auch wenn diese bei der hier gestellten Zinsforderung wenig wirksam werden.

Bei einem Zinsfuß von 3% können auf Basis der Messungen und Simulationsergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs keine wirtschaftlich sinnvollen Ergebnisse erzielt werden, egal ob im Wuchsszenario bestes oder durchschnittliches Z-Baum-Wachstum. Die Verzinsungsforderung kann nicht erfüllt werden, es muss ein niedrigerer Zinsfuß akzeptiert werden oder auf Eichenbestände verzichtet und eine andere Bestockung gewählt werden.

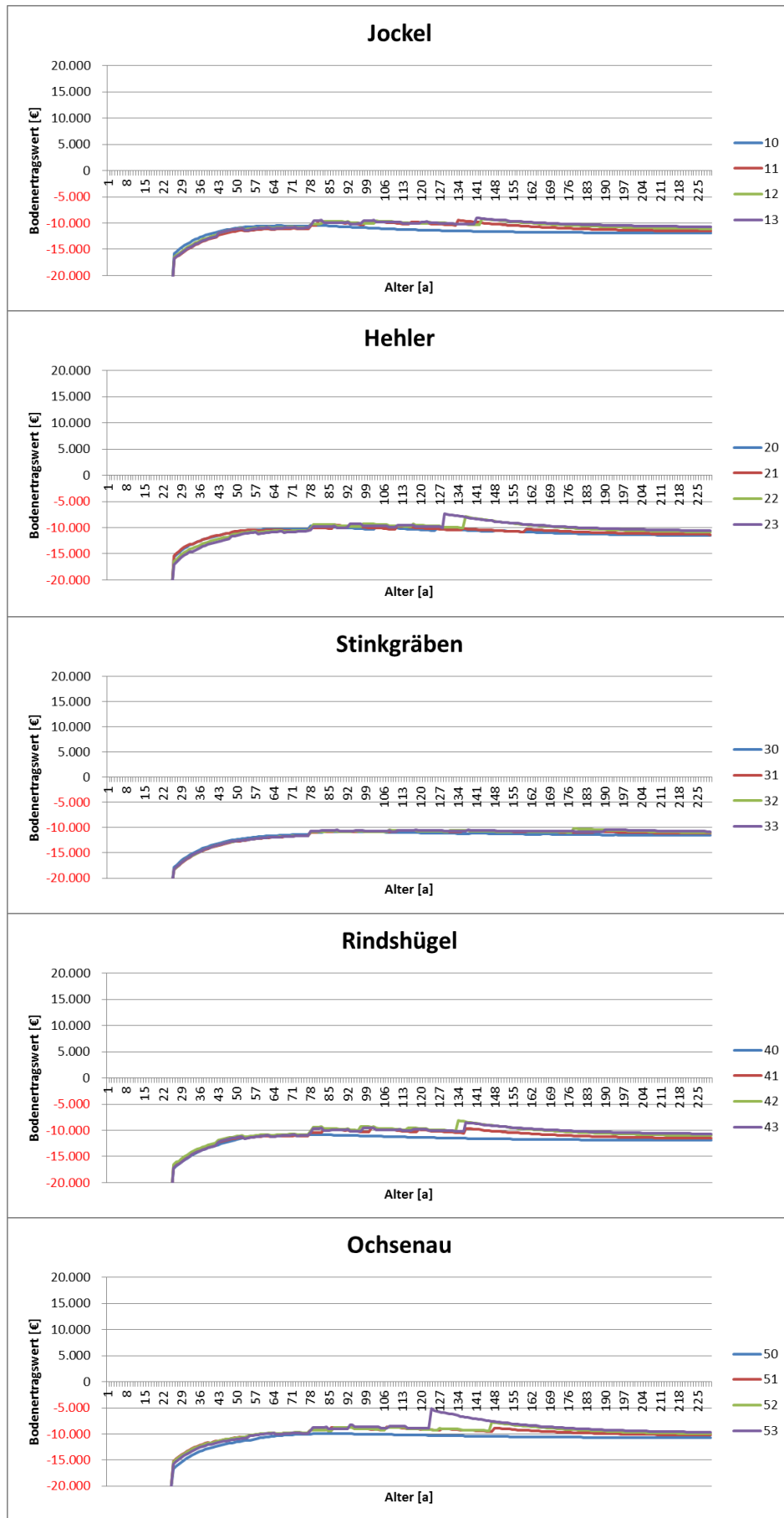


Abb. 5.11: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei 3%

## 5.4 Diskussion

Das Wirtschaften mit Eichen war und ist vielen pauschalen Aussagen, Meinungen und Vorstellungen unterworfen. Lange galt für die Eichenbewirtschaftung der Grundsatz, dass tradierte Wirtschaftsweisen nicht zur Diskussion stünden (Fleder 1981). Dies bedeute, dass unter hohen Kosten begründet und sehr verhalten durchforstet wurde.

Die forstliche Forschung hat allerdings in den letzten Jahrzehnten viele induktive Aussagen zur Eichenwirtschaft revidiert und in ein neues forstliches Licht gerückt. Die Akzeptanz von Risiko für die Baumart Eiche, die Wahl von Z-Stämmen, Wertästungen und alternative Begründungskonzepte sowie Naturverjüngungsbetrieb sind heute in der Eichenwirtschaft keine Tabus mehr und zumindest akzeptiert.

Allerdings gibt es nach wie vor einen Themenbereich, der von der Forstwirtschaft sehr pauschal gesehen und bewertet wird: Ein Wirtschaften mit Eichen im Kontext finanzieller Betrachtung ist unattraktiv und nicht lohnenswert. Diese Einschätzung herrscht insbesondere in privaten Forstbetrieben vor. Die vorliegende Studie zeigt, dass eine wirtschaftliche Betrachtung der Baumart Eiche in der Produktion hochwertiger Sortimente derart pauschal nicht ausfallen kann. In der Auslotung von Potentialen für die Eichenwirtschaft zeigt sich, dass durchaus positive Bodenertragswerte generiert werden können. Es gilt allerdings, diese auf neuen Wegen zu erreichen und sich nicht an altbewährten und tradierten Meinungen, Methoden und Vorstellungen zu orientieren. In der folgenden Diskussion soll kritisch aufgezeigt werden, dass dieser Schluss zulässig ist.

Ein Bezug zu den Forschungshypothesen aus Kapitel 1.2 wird erst summarisch nach allen drei Teilstudien in Kapitel 7 hergestellt.

### 5.4.1 Diskussion der Methoden

Die in der vorliegenden Studie gewählten finanzmathematischen Analysen sind deterministisch. Zur Analyse und zum Vergleich unterschiedlicher Investitionsvarianten sind sie allgemein akzeptiert und geeignet, da sie Kapitalknappheit und Opportunitätskosten unterstellen (Kato 1986, Thommen & Achleitner 2009, Wöhe 2005). Sie zeigen also unter dem Eindruck von alternativen Möglichkeiten „beste“ Wahlmöglichkeiten an. Ein Vergleich von Behandlungsvarianten ist demnach fundiert möglich – allerdings muss angesichts der Wahl der finanziellen Methoden in der vorliegenden Arbeit hierbei immer bedacht werden, dass den Unterschieden in der Länge der Planungsperioden (=Umtriebszeiten) durch eine unendliche Abfolge wiederkehrender Eichenbestockung begegnet wurde. Die Analysen basieren auf zwei Grundvoraussetzungen, die als gegeben angenommen wurden: Zum einen unterstellen sie einen vollkommenen Kapitalmarkt und zum anderen einen stetig konstanten Zins über die gesamte Laufzeit der Investition (Wöhe 2005). Es kann hinterfragt werden, ob diese

Annahmen für die Forstwirtschaft allgemein und die Eichenwirtschaft mit ihren langen Umtriebszeiten im Speziellen als gegeben akzeptiert werden darf. Die Wahl des Zinsfußes ist in Kapitel 5.2.3 dargelegt worden. Die wesentlichen Prämissen der finanziellen Bewertung werden im Folgenden erörtert.

#### **5.4.1.1 Wachstumsmodelle**

Die unterstellten Wachstumsgänge der Eichenbestände basieren nicht nur auf Messungen, sondern auf Fortschreibungen und „virtuellen Bäumen“. Wie in Kapitel 3.2 dargelegt, erforderten inkonsequente Durchforstungen im Jahr 1998, ein virtuelles Fortschreiben der entnommenen Stämme. Durch die Übertragung von Jahrringbreiten realer Bäume auf diese virtuellen Stämme entstehen Unschärfen, die für diese Analysen in Kauf genommen wurden. In der gesamten Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Studie muss beachtet werden, dass einerseits durch die Verwendung arithmetisch gemittelter Jahrringbreiten bzw. durch Verwendung eines einzelnen (maximal gemessenen) Wertes die Varianz der Daten im Vergleich zu real gemessenen Bäumen reduziert ist. Aus diesem Grund ist es zwingend erforderlich, in der Interpretation der Ergebnisse die Akzeptanz von Ergebnissen auf Basis von Scheinsignifikanzen zu vermeiden, in dem die reduzierte Streuung der Daten konsequent bedacht wird. Darüber hinaus wurde mit den gewählten Wachstumsmodellen und dem Verzicht auf Mortalitätsmodellierung ein Wachstum in den Beständen abgebildet, das sicherlich am oberen Ende des biologisch Möglichen verläuft. Aus diesen Gründen ist in der Interpretation der Ergebnisse eine entsprechende Zurückhaltung und Vorsicht an den Tag zu legen.

#### **Wuchsszenario $\text{best}_{\text{Tree-growth}}$**

In diesem Szenario wurde der weiteste Jahrring der fünf Probebäume pro Behandlungsparzelle herausgefiltert und als lineare Forstschreibungsgrundlage für das Simulationsgeschehen genutzt. Es ist zu hinterfragen, ob ein solches Vorgehen Bestand haben darf, denn eine Maximierung des Wachstumsgangs auf Basis einer einzigen Messung (ohne Varianz) bildet die Grundlage für dieses Wuchsszenario. Überschätzungen der Wuchspotenz können die Folge sein. Dies würde in zu kurzen Umtriebszeiten münden. Es muss anerkannt werden, dass die Datenbasis für dieses Zuwachsgeschehen sehr begrenzt ist. Allerdings kann unterstellt werden, dass der weiteste Jahrring eines Kollektivs ehemals nur mitherrschender Bäume eher dem Mittelwert der Jahrringbreite des herrschenden Kollektivs entspricht. Diese theoretische Überlegung wird dadurch untermauert, dass im diskutierten Wuchsszenario Umtriebszeiten von etwa 100 bis 130 Jahren für die am frühesten geförderten Bäume errechnet wurden. Diese decken sich sehr gut mit Angaben von Kerr (1996), Lemaire (2010) oder Wilhelm & Rieger (2013), die an früh geförderten Eichen ähnliche Umtriebszeiten feststellten.

Das hier diskutierte Wuchsszenario soll als eine Art Auslotung und Ausreizen von Potentialen verstanden werden. Es soll gezeigt werden, welche wirtschaftlichen Potentiale mit den heimischen Eichenarten hypothetisch und maximal realisierbar erscheinen. Die Ergebnisse dieses Wuchsszenarios stellen absolute Obergrenzen dar und werden in der Regel nicht stetig erreichbar sein. Sie basieren auf linear ungebrochenem Einzelbaum- und Bestandeszuwachs und sind darum im Sinne einer Potentialanalyse zu verstehen, Sie stellen aber Benchmarks dar, an denen sich alternative Berechnungen messen lassen können.

### **Wuchsszenario average<sub>Tree</sub>-growth**

Dieses Szenario basiert auf der Mittelung der gemessenen Jahrringbreiten pro Versuchsparzelle bei konstant beibehaltener Jahrringbreite über die Zeit und stellt somit einen breiten Querschnitt dar. Die Wachstumsläufe dieses Szenarios bilden den Durchschnitt der real noch immer auf den Versuchsflächen stockenden Eichen ab. Mit diesem Wuchsszenario ist es möglich, sich den realistisch zu erwartenden Zuwächsen auf den Versuchsflächen zu nähern, aber Maxima und Potentiale lassen sich hierüber nicht ausloten. Das hier diskutierte Wuchsszenario kann als eine Referenz für das best<sub>Tree</sub>-growth-Szenario betrachtet werden.

### **Zuwächse**

Es wurden für die hier vorliegende Studie zwei Bestandeswachstumsgänge unterschieden. Zum einen ein linearer Bestandeszuwachs über die Zeit von  $10 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{a}$ , zum anderen ein um 1% pro Jahr fallender. Zehn Festmeter Zuwachs pro Jahr als dGz (durchschnittlicher Gesamtzuwachs) erscheinen für Eichenbestände hoch, doch neueste Messungen von Pretzsch et al. (2013) zeigen, dass in Eichenbeständen ein deutlich höherer Zuwachs möglich ist, als in den Eichenertragstafeln (Jüttner 1955) angegeben wird. Zehn Festmeter pro Jahr sind hierbei noch im Mittelfeld der Wuchspotenz angesiedelt. Auch Dhôte & Hervé (2001) berichten von Wuchssteigerungen des Grundflächenzuwachses von bis zu 55% über die Zeit. Weiterhin basiert dieses Wachstum nicht nur auf Eichen, sondern auch Buchen im Unterstand, die einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Hektarleistung erbringen. Werden die Entnahmemengen und die Vorräte der Bestände am Ende der Umtriebszeiten aufsummiert, so zeigen die sich ergebenden Gesamtwuchsleitungen Werte, die den Kontrollparzellen entsprechen und im Literaturvergleich als realistisch eingestuft werden können (Preushler & Stögbauer (1990), Koppel (1995), Pretzsch et al. (2013)). In einer kritischen Sicht der Simulationsgrundlagen muss allerdings anerkannt werden, dass für beste Bonitäten simuliert wurde und auch in diesem Aspekt eine Auslotung von Maxima Ziel der Analyse war. Darüber muss beachtet werden, dass in den Wachstumsgängen keine Mortalitätsmodule enthalten sind.

### **5.4.1.2 Eingangsgrößen**

Im Folgenden werden einzelne Eingangsgrößen der Simulationen besprochen, da diese wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisfindung deterministischer finanzmathematischer Analysen haben.

#### **Entnahmemengen bei Durchforstungen**

In klassisch bewirtschafteten Eichenbeständen sind die Entnahmemengen oftmals sehr gering, lediglich einzelstammweise Entnahmen durchstechender Buchen und „grober“ Eichen (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981) prägen das Eingriffsgeschehen. Mit einem Nutzungsansatz von 30 Festmeter pro Jahrzehnt wurde dieser zurückhaltenden Art der Bestandespflege Rechnung getragen. Die positiven Pflegeeingriffe wurden mit 40 bzw. 60 Festmeter Nutzungsansatz pro Dezennium und Hektar angesetzt. Diese Werte korrelierten mit der entnommenen Grundfläche der letzten Durchforstung im Jahr 2012, die die Wuchphase der Pflege beendete. Unter Zuhilfenahme von bestandesspezifischen und statistisch abgesicherten Regressionsfunktionen zur Baumhöhe und Volumen konnten so realistische Entnahmesätze ermittelt werden.

#### **Sortierung der entnommenen Masse**

Die im Zuge der Durchforstungen entnommene Masse wurde abhängig vom Alter sortiert. Ab einem Alter von 77 Jahren wurde die entnommene Masse nach 80 % Brennholz und 20 % Eiche Stammholz Güte C (Parkettholz) nach RVR (Deutscher Forstwirtschaftsrat & Deutscher Holzwirtschaftsrat 2014) sortiert. In dieser Aufteilung zeigte sich die tatsächlich realisierte Entnahme im ältesten Versuchsbestand. Für die Analysen, die nur bis zum Ende der jeweiligen Umtriebszeit fokussierten, wurden alle entnommenen Massen derart sortiert.

Für die über die eigentliche Zielstärke hinausgehenden Analysen wurden die Bestände zu jedem Zeitpunkt sortiert. Tabelle 5.5 in zeigt die Aufspaltung, die sich an den Durchmessern der Eichen und einer gutachterlich-realistischen Aufteilung der Holzmassen orientiert.

Die Wertholz mengen der Simulationen wurden um 50% reduziert, um Risiko durch Wasserreiserbildung, Eichensterben oder sonstige Entwertungen wie Ernte- oder Rückeschäden abzubilden. Eine weitere Komponente des eingewägtem Risikos bildete der Eichenausfall in den Kontrollflächen. Er wurde linear extrapoliert. Risikokurven verlaufen in der Regel nichtlinear (vgl. König 1996, Beinhofer 2007 & 2008, Knoke & Seifert 2008, Höllerl 2009), doch wurde um einen schnelleren Eichenausfall durch Buchenkonkurrenz zu simulieren auf eine lineare Funktion zurückgegriffen. Die Ausfallgeschwindigkeit erhöht sich damit, das Risikomoment wird stärker eingeschätzt.

### **Aufwendungen für Bestandespflege und –etablierung**

In Tabelle 5.6 werden die Aufwendungen dargestellt, die in die Analysen einfließen. Wesentlichen Einfluss erreichen hierbei allerdings nur zwei Parameter. Zum einen sind dies die Kosten der Holzernte. In den Simulationen wird immer von motormanueller Holzernte ausgegangen, die Arbeitsstunde eines Forstwirtes wurde brutto mit 40,00 € angenommen. Im Vergleich zum Manteltarifvertrag Forst aus dem Jahr 2013 (Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt 2013) ist dies ein erhöhtes Entgelt. Erwartete Tarifanpassungen in der Zukunft lassen aber eine Kalkulation mit erhöhtem Entgelt realistisch erscheinen. Für die Holzernte wurde eine Produktivität von zwei Festmetern pro Stunde angesetzt, beziehungsweise daraus abgeleitet Holzerntekosten von 20,00 € pro Festmeter ermittelt. In einer vereinfachenden Unterstellung eines Regiesystemansatzes sind hierbei Holzurückkosten inkludiert.

Der andere wesentliche Einflussfaktor auf die finanziellen Analysen waren die Kulturkosten. 10.000 € pro Hektar sind eine etablierte Planungsgröße für die Kostenabschätzung von Eichenkulturen (Burschel & Huss 2003, Forstdirektion Unterfranken 2005, Saha et al. 2012). Fallweise berichtet die forstliche Praxis von noch wesentlich höheren Begründungskosten, insbesondere wenn die Zeitspanne bis zur Sicherung der Kultur mitbetrachtet wird. Um einen einheitlichen Standard anzulegen, wurden die Begründungskosten für die Grundanalysen jedoch bei 10.000 € pro Hektar fixiert und dann in den Sensitivitätsanalysen verändert. Für die Sensitivitätsanalysen wurden auch Kulturkosten von Null € pro Hektar bei Naturverjüngung unterstellt. Wobei Naturverjüngungen an sich nicht als kostenfrei betrachtet werden dürfen (Suchant et. al 2010). Kostenfrei wurde in dieser Studie als nicht kassenwirksam verstanden.

### **Holzerlöse**

Einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der finanziellen Analysen haben sicherlich die Holzpreise, insbesondere da sich mit Eichenwertholz sehr hohe absolute Beträge erzielen lassen. Die Studie von Beinhofer (2010) geht empirisch von 670 € pro Festmeter Eichenwertholz aus. Dieser Betrag wurde für die vorliegende Studie übernommen. Es muss jedoch kritisch hinterfragt werden, ob dies gerechtfertigt ist. Gerade die positive Pflege, die breitere Jahrringe erzieht und dadurch kürzere Umtriebszeiten verspricht, erbringt nicht das klassische hochpreisige Produkt für die Furnierindustrie (sog. „milde“ Eiche) (Fleder 1981, Metzger 1999). Die Konsequenz positiver Förderung sind weitringige, also „grobe“ Eichen, die als Wertholz eher im Fassholzbereich Absatz finden. In dieser Branche sind allerdings in der Regel kaum über 400 € pro Festmeter zu erzielen. In Ermangelung statistisch abgesicherter Eichenwertholzpreise wurden die Preise von Beinhofer (2010) übernommen, allerdings in dem Bewusstsein, am Maximum des Holzmarktes zu operieren. Die unterstellten Preise für B- und C-Qualitäten erscheinen realistisch, die Eichenerlöse der Submissionen der Jahre 2010 bis 2016 zeigen stabile bis sogar zunehmende Preise für diese Sortimente.



### 5.4.2 Diskussion der Ergebnisse

Alle in der vorliegenden finanziellen Studie gezeigten Ergebnisse belegen, dass es drei wesentliche Stellschrauben für die finanzielle Leistungsfähigkeit von Eichenbeständen gibt: Zum einen sind dies die Kulturkosten, zum anderen das waldbauliche Pflegeregime und der Standort, die die Wachstumsgeschwindigkeit steuern und zum dritten ein bestandesweiser, individueller Zieldurchmesser, der einen finanz-optimalen Einschlagstermin vorgibt.

Andere finanziell das Endergebnis beeinflussende Faktoren wie etwa die Höhe des Zinsfußes sind schwer aktiv zu steuern. Sie werden durch den Kapitalgebenden bestimmt und liegen außerhalb der Einflussmöglichkeiten des Wirtschaftenden (vgl. Wöhe 2005). Es kann mit vorliegender Studie jedoch gezeigt werden, dass selbst bei kassenwirksam kostenlosen Naturverjüngungen und bei intensivster Pflege mit Z-Stämmen und niedrigster Umtriebszeit auf besten Standorten Zinsforderungen von 3 % nicht erfüllbar sind. Kerr (1996) nennt 3% einen realistisch realisierbaren Zins in Eichenbetriebsklassen und auch Beinhofer (2010) weist nach, dass unter der Prämisse von reduzierten Kulturkosten und mittels Wertastungen 3% Verzinsung möglich sind. Nach der vorliegenden Studie ist ein Zinsfuß von 2 % für klassisch – also ohne Wertastung - bewirtschaftet Eichenbestände eine hohe finanzielle Hürde, die nur unter optimalen Bewirtschaftungsvoraussetzungen eingehalten werden kann.

Darüber hinaus zeigt die vorliegende Studie, dass der Wahl des Pflegeurnus aus finanzieller Sicht keine Bedeutung zu schenken ist. Es ist für das finanzielle Endergebnis irrelevant, ob im 5- oder 10-Jahres Turnus durchforstet wird, solange diese Durchforstungen auch tatsächlich vorgenommen werden. Ein Verzicht auf Vornutzungen (vgl. Utschig 2000), der durch die Stilllegungsvariante abgebildet ist, wirkt kaum finanziell vorteilhaft.

#### Kulturkosten

Die Kulturkosten sind eine zentrale Größe der Eichenwirtschaft (Ehring & Keller 2016, vgl auch Knoke et al. 2016). Die Sensitivitätsanalysen für die Kulturkosten der vorliegenden Studie zeigen, dass die Anfangsinvestition für eine Eichenkultur massiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit über das gesamte Bestandesleben hinweg ausübt. Bei der Halbierung der Kulturkosten auf 5.000 € pro Hektar konnten die Negativauslesen des Traubeneichenpflegeversuchs mit positiven Annuitäten und Bodenertragswerte aufwarten. Dies war bei den ursprünglich angesetzten Kulturkosten von 10.000 € pro Hektar nicht der Fall. Ebenso erhöhten sich die Annuitäten der positiven Pflegeregime deutlich, die beste Annuität verdoppelte sich fast auf 264,36 € pro Hektar. Auch im ältesten Bestand, den „Stinkgräben“, der erst nach seiner physiologischen Kulmination des Wachstums durchforstet wurde und demnach nur verhalten reagieren konnte (vgl. Pretzsch & Utschig 1995), wurden positive Annuitäten möglich.

Bei Unterstellung von keinen kassenwirksamen Kulturkosten zeigte sich, dass fast alle Annuitäten im positiven Bereich liegen. Lediglich zwei Stilllegungs-Szenarios wiesen weiterhin ein negatives Vorzeichen auf. Bartelheimer (1991) sowie Kerr (1996) forderten analog zur Schlussfolgerung der hier vorliegenden Studie, dass eine Extensivierung der Eichenwirtschaft nötig sei, um zu finanziell attraktiven Ergebnisse zu kommen. Allerdings darf der Begriff Extensivierung im Sinne der hier vorliegenden Studie nicht auf die Art der Bewirtschaftung übertragen werden (vgl. Beinhofer 2010). Das anzuwendende Pflegeregime darf nicht extensiv sein wie es die Beispiele Stilllegung oder Negativauslese aufzeigen. Auf Basis der hier vorgestellten Studie führen nur intensive positive Förderungen durch Durchforstungen zu wirtschaftlich attraktiven Ergebnissen. Einschränkend ist aber festzustellen, dass grundsätzlich auch bei stammzahlarmen Begründungen und alternativen Bewirtschaftungsprogrammen wie z.B. bei Wertastung (vgl. Zieren 1970, Hochbichler 1987, Hochbichler & Krapfenbauer 1988, Hochbichler et al. 1990, Beinhofer 2010) positive wirtschaftliche Ergebnisse erzielt werden können.

Auch Szymanski (1986), Gockel (1995), Guericke (1996), Ruhm (1997) Leder (2007), Petersen (2007) sowie Saha et al. (2012) sehen durch alternative Begründungsmethoden für Werteichenbestände Bedarf an einer Senkung der Kulturkosten und untermauern die hier festgestellte Bedeutung der Kulturkosten für die Eichenwirtschaft. Aus den Sensitivitätsanalysen lässt sich ableiten, dass für Eichenkulturen der Grundsatz gelten muss, dass diese so günstig wie nur möglich ausfallen sollten (vgl. Knoke et al. 2012). Dies darf jedoch nicht zu Lasten der Qualität des Pflanzguts und der Pflanzung gehen (Burschel & Huss 2003).

### **Umtriebszeit und Wachstum der Bestände**

Neben den Kulturkosten ist es das Wachstum und damit die Umtriebszeit, die intensiv auf das wirtschaftliche Endergebnis der Eichenbestände wirkt. Bereits Faustmann (1853) beschrieb diesen auch in vorliegender Studie nachgewiesenen Effekt, der insbesondere auch für die Eichenwirtschaft Gültigkeit besitzt. Die Analyse der Annuitäten im Verhältnis zu der benötigten Produktionszeit ergibt, dass beide Größen negativ miteinander korreliert sind. Je geringer die Produktionszeit ausfällt, desto höher sind die errechneten Annuitäten. Dies zeigte sich insbesondere dadurch, dass in der Regel die positiven Auslesen durch Ressourcenallokation auf den Einzelstamm eine Wuchszeitverkürzung im Vergleich zu den Negativauslesen erbrachten. Darüber hinaus zeigten die positiven Auslesen auf Muschelkalk ein schnelleres Wachstum zu den im Alter korrespondieren Eichen auf Buntsandstein („Ochsenau“ vs. „Hehler“). Dies unterstreicht die Forderung, Eichenbestände bei Wahlmöglichkeit auf den besseren Standorten anzubauen (vgl. Schlenker 1971, Hochbichler 1993 & 2008, Wilhelm et al. 1999, Kölling & Müller-Kroehling. 2011, Michiels 2014).

Die Analysen der Annuitäten verdeutlichten weiterhin, dass die Wertleistung des Einzelstammes zumeist über der Wertleistung des Bestandes durch Massenzuwachs steht. Die Simulationsergebnisse der Annuitäten mit Z-Stamm-Wachstumsgängen der Eichen im „best<sub>Tree</sub> growth“-Szenario übertrafen die Ergebnisse des „average<sub>Tree</sub> growth“ Szenarios (Vergleich der Wuchsszenarien 2 und 5), selbst wenn im „best<sub>Tree</sub> growth“-Szenario das Szenario „reduced<sub>Stand</sub>“ für das Bestandeswachstum unterstellt wurde. Zinseffekte durch kurze Umtriebszeiten bis zum Einschlag sowie schnell generierte und hohe Wertleistung der Wertholzstämmen schlagen in der Annuitätenberechnung durch. Langsameres Wachstum und die Produktion hoher Anteile von C-Holz sowie Brennholz schneiden in der finanziellen Bewertung schlecht ab. Damit ist es richtig und konsequent, auf den Einzelstamm zu fokussieren und die Massenleistung des Eichenbestandes in den Hintergrund zu rücken (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981, Kenk 1984 & 1993, Krapfenbauer & Hochbichler 1984, Mosandl et al. 1988 & 1991, Hochbichler 1990 & 1993, Spiecker 1991, Mosandl & Kleinert 1998, Wilhelm et al. 1999, Küster 2000, Mosandl & Paulus 2002, Dong et al. 2007, Lemaire 2010, Attocchi 2013, Wilhelm & Rieger 2013). Die absolut höheren Annuitäten der positiven Auslesen, die nur wenig Vorrat am Ende ihrer Umtriebszeit im Vergleich zu den Negativauslesen mit deutlich geringeren oder sogar negativen Annuitäten aufwiesen, belegen dies eindrücklich. Dies widerspricht klassischer waldwachstumskundlicher Forschung, die mit Rücksicht auf die Massenleistung kritische Bestockungsgrade formulierte (Assmann 1961) und eher die Massenleistung denn die Wertleistung des Einzelbaums fokussierte, auch in Eichenbeständen (Erteld 1956, Utschig 1992, Pretzsch 1993, Utschig et al. 1993, Pretzsch & Utschig 1995, Utschig 2000, Utschig & Pretzsch 2001, Anta & Gonzáles 2005, Pretzsch et al. 2012). Konsequenterweise sollte und muss heutzutage der einzelne Wertholzstamm im Eichenwaldbau eher im Fokus stehen denn die Massenproduktion (Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010, Attocchi 2013, Wilhelm & Rieger 2013). Dies gilt sogar in modern bewirtschafteten Mittelwäldern (Hochbichler 2008), die per Definition eine hohe Massenproduktionskomponente bergen. Zur Wertleistung wird auch hier vermehrt auf den Einzelstamm gesetzt.

### **Bestandesweise finanziell optimierter Einschlagstermin**

Traditionell wird Eichenholz nur dann als teuer und wertvoll assoziiert, wenn es stark dimensioniert ist (Schulz 1955 & 1961, Krahl-Urban 1959, Hochbichler 1987, Göttlein 1994b, Metzger 1999, Diwold 2008, Beinhofer 2010, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013, Ammer 2016, Möhring & v. Bodelschwingh 2016). Die Zielsetzung der Eichenwertholz- und –starkholzproduktion wird darum in der Forstwirtschaft nicht hinterfragt. Als hiebsreif gilt eine Eiche meist ab BHD 70 cm (Schulz 1955 & 1961), eine frühzeitigere Nutzung wird unter dem Verweis der Hiebsunreife abgelehnt.

Unter Beachtung von Zinseffekten stellt sich allerdings die Frage, ob teuer verkauftes Starkholz angesichts hoher Produktionskosten letztendlich Kostendeckung erwirtschaften kann. Die Analysen der vorliegenden Studie zeigen, dass auf Ebene des Einzelbestands in Abhängigkeit von Wachstum, Vorerträgen durch Pflege und Sortierungsgewinnen durch Klassensprünge nicht unbedingt die Produktion von Starkholz die wirtschaftlichste Zielsetzung ist (vgl. Knoke & Peter 2002). Vielmehr ist es so, dass die Bewertung der Bestandeswerte zu jedem Zeitpunkt  $t$  zeigt, dass es mitunter sogar möglich ist, mit dem Zuwarten auf eine bestimmte Zielgröße (z.B. BHD 70 cm) finanzielle Werte zu vernichten (vgl. Beinhofer & Knoke 2007). Dies gilt analog zu Mittelwäldern, denen standortsabhängig unterschiedliche Umtriebszeiten für die Hauschicht zugeordnet werden um eine optimale Ausbeute an Brenn- und Nutzholz zu erzielen (Cotta 1828, Hartig 1861, Heyer 1893, Hamm 1896, Hochbichler 2008). Werden diese Umtriebszeiten überschritten, so sinkt der Gesamtnutzen. Auch in Niederwäldern vernichten Zinseffekte von Pflegekosten kapitalisierte Abtriebswerte, so dass Vereinzeln von Stockausschlägen zur Anregung des Wachstums einzelner begünstigter Schösslinge nicht empfohlen werden kann (Dwyer et al. 1993).

Insbesondere die Stilllegungsflächen als auch die Negativauslesen zeigten in den Analysen Kurvenverläufe der Bestandeswertentwicklung – ausgedrückt durch den Bodenertragswert, die bereits in jungen Altern von fallweise unter 100 Jahren lokale Maxima erreichten. Absolut konnten die Bestände im weiteren Verlauf ihres simulierten Wachstums keine oder nur unwesentlich höhere Bodenertragswerte mehr generieren. Aus finanzieller Sicht waren diese Bestände somit weit vor dem Erreichen des Ziel-BHD hiebsnotwendig. Gewinne durch Klassensprünge infolge von Wachstum wurden durch die Zinskosten kompensiert, teilweise sogar überkompensiert. Dieser Effekt war umso stärker, je höher die absolute Zinsforderung ausfiel. War es fallweise bei einer Verzinsungsrate von 1% wirtschaftlich noch interessant, die Eichen bis zu BHD 70 cm wachsen zu lassen, so stellte sich dies bei einem Zinsfuß von 3 % ganz anders dar. Die höhere Erwartungshaltung an die Kapitalrentabilität führt zu einem verfrühten Einschlag. Allerdings müssen in solchen Überlegungen die Folgekosten einer Bestandesneubegründung nach Abtrieb mit einbezogen werden.

Des Weiteren wurde offensichtlich, dass physiologisch kaum mehr reaktionsfähige ältere Bestände (Bestand „Stinkgräben“) (vgl. Pretzsch & Utschig 1995) ebenfalls frühzeitig lokale Maxima erreichten, die im weiteren Bestandesleben nicht mehr übertroffen werden konnten. Dies gilt insbesondere bei klassisch-zurückhaltender Bewirtschaftung und Durchforstung (Behandlungsregime „1“). Dies bedeutet, dass fallweise klassisch erzogene Werteichenbestände ab einem Alter von etwa 100-120 Jahren abgetrieben werden sollten (vgl. Knoke et al. 2012).

Auch die jüngeren Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs, die mittels Z-Baum-Durchforstungen auf stärkeres Wachstum hin erzogen wurden, sind nicht einheitlich

hinsichtlich des Einschlagtermins zu bewerten. In den meisten Fällen lohnte es sich, bis zum Erreichen des letzten Klassensprungs und dem Produktionsabschluss der mit Maximalpreisen bewerteten Sortimente zu warten (vgl. Beinhofer 2010). Allerdings galt dies nicht, wenn hohe Zinsforderungen gestellt wurden, das Z-Baum-Wachstum mit einer mittleren Wüchsigkeit ( $\text{average}_{\text{Tree-growth}}$ ) simuliert wurde oder die Kulturkosten sehr hoch angesetzt wurden. Diese Prämissen führten unabhängig voneinander zu frühzeitig erreichten lokalen Maxima der Bodenertragswerte und damit konsequenterweise zum Einschlag vor Erreichen der Zielstärke. Allen Simulationsvarianten unter allen Simulationsprämissen war gemein, dass die Bodenertragswerte über die Zeit, spätestens jedoch nach dem letzten Klassensprung, stetig sanken. Das Erreichen der Zielstärke markierte für alle Varianten den spätesten potentiell sinnvollen Einschlagtermin, falls nicht im Vorfeld des Bestandeslebens bereits lokale Maxima erreicht wurden.

Das stetige Fallen der Bodenertragswertkurve zeigt, dass sich finanzielle Werte verminderten. Das Weiterwachsenlassen der Eichen stellt somit einen finanziellen Aufwand dar. Das in Forstbetrieben häufig praktizierte „Strecken von Alteichenvorräten“ bei Überschreiten der Zielstärke ist nach vorliegender Analyse finanziell nachteilig und nicht sinnvoll zu bewerten. Ausnahme dieser Aussage können nur (wesentlich) höhere erwartete Wertholzpreise in der Zukunft oder nicht-monetäre Beweggründe sein; darüber hinaus gescheute Kulturkosten für die Folgebstockung und Aspekte einer Marktdestabilisierung durch potentiell Überangebot. Die vorliegende Studie zeigt, dass es in der Regel zu höheren Bodenertragswerten kommt, wenn Eichenbestände in jungen Altern in intensive Bewirtschaftung mittels Z-Baum-Durchforstungen genommen werden. Ein verfrühter Einschlag vor Erreichen der Zielstärke kann aus finanzieller Sicht das Mittel der Wahl sein. Dies gilt allerdings so nur auf guten Standorten und gutem Einzelbaumwachstum. Werden die Standorte schlechter beziehungsweise ist der Einzelbaumzuwachs gering, so können auch Negativauslesen zu frühzeitig hohen lokalen Maxima der Bodenertragswerte führen, allerdings auf insgesamt niedrigem Niveau.

Ungeachtet der Wahl des Behandlungsregimes und der Wuchsprämissen kann mit vorliegender Studie attestiert werden, dass Flächenstilllegungen in Form eines aussetzenden Betriebs (Variante „0“ des Traubeneichenpflegeversuches) finanziell nachteilig sind. Die Stilllegungsflächen akkumulieren angesichts fehlender Durchforstungen hohe Massen pro Hektar. Der Eichenausfall durch Buchenkonkurrenz lässt allerdings nach den Ergebnissen des Traubeneichenpflegeversuchs nur ungepflegte und qualitativ unterdurchschnittliche Buchenbestände erwarten. Der Verzicht auf Vornutzungen, gepaart mit hohen Investitionskosten und geringen Abtriebswerten durch marginale Eichenwertholzanteile bedingen eine hohe finanzielle Nachteiligkeit dieser Bewirtschaftungsvariante.

---

Flächenstilllegung kann auf Basis der hier dargestellten Ergebnisse aus finanzieller Sicht für junge Eichenbestände nicht empfohlen werden.

## 6 Naturschutzfachliche Studie

### 6.1 Einleitung

Der Schutz und der Erhalt des Artenreichtums und der Biodiversität sind ein zentrales umweltpolitisches Thema geworden, explizit auch in der Waldbewirtschaftung. Die breite Öffentlichkeit, die Medien, die Forschung als auch der Gesetzgeber messen dem (Wald-)Naturschutz große Bedeutung zu. Der Erhalt und der Schutz der Waldbiodiversität sind zu einer gesellschaftspolitisch anerkannten Forderung geworden, die auch große Auswirkungen auf die forstliche Bewirtschaftung hat (Johnson et al. 2009). Insbesondere das forstlich-wirtschaftende Handeln im Wald wird gegenwärtig von Umweltschutzverbänden und NGOs kritisch hinsichtlich seiner Intensität und seiner Folgen hinterfragt (Gamborg & Larsen 2003, Bieling 2004, Greenpeace 2013). Diese intensive gesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Objekt „Wald“ führt oftmals zur Entwicklung von Managementkonzepten für den Wald, deren Motivation, Zielsetzung und Durchführung durchaus notable Abweichungen zur forstlichen Sicht aufweisen.

In der Folge der gesellschaftspolitischen Auseinandersetzungen besteht die Herausforderung einer objektiven Bewertung von Naturschutz, Artenvielfalt oder Biodiversität in Wäldern. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt weder normativ definiert noch operativ geregelt, wie diese Größen operational gemessen werden können. Vielfach wird die vorkommende Anzahl von Arten in bestimmten ökologischen Gilden, z.B. totholzbewohnende Käfer, Vögel oder holzzersetzende Pilze, hierfür herangezogen (Müller et al. 2007a, Müller und Bütler 2010). Allerdings ist die Artenanzahlhäufig nur unzureichend, sehr komplex und aufwendig zu bestimmen. Aus diesem Grund wird statt zur Erhebung der Anzahl an Arten das Volumen von Totholz pro Hektar als Proxy herangezogen, da beide Größen positiv und straff korrelieren (Müller und Bütler 2010) und Totholzvolumina relativ einfach im Zuge von Inventuren zu erheben sind.

Darüber hinaus ist der Weg zum Erreichen fallweise normativ vereinbarter Totholzmengen im Wald als Ergebnis dieser gesellschaftspolitischen und ökologischen Auseinandersetzungen nicht eindeutig vorgegeben. Neben der strikten Flächenstilllegung und dem flächigen Zulassen natürlich-dynamischer Prozesse werden von forstlicher Seite aus durch sogenannten integrativen Naturschutz punktuell Totholz und Habitatbäume als Beitrag zur Waldbiodiversität in bewirtschafteten Wäldern bereit gestellt (Bütler et al. 2005, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit 2008, Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg 2014). Hierbei werden Bäume, die in regulär bewirtschafteten Beständen aufgrund ihrer schlechten Holzeigenschaften entnommen worden wären, zur Erfüllung einer Habitatfunktion für die Waldfauna und -flora belassen. Habitatbäume<sup>10</sup> sind als solche in der Literatur nicht

---

<sup>10</sup>Synonym zum Begriff Habitatbaum kann inhaltsgleich der Begriff Biotopbaum verwendet werden. In dieser Arbeit wird nur der Begriff Habitatbaum verwendet.

abschließend und verbindlich definiert, in der Regel werden darunter aber Bäume verstanden, die für Organismen sogenannte Mikrohabitate infolge besonderer Strukturen bieten. Solche Strukturen können beispielsweise Höhlungen, Rindentaschen, Nester oder abgebrochene Starkäste sein (Winter und Möller 2008, Vuidot et al. 2011).

Die beiden genannten Komponenten des Waldlebensraums – Totholz und Habitatbäume – werden wissenschaftlich als Indikatoren für die Verfügbarkeit von Habitat diskutiert und in Zuge ökologischer Analysen bei Forstinventuren teilweise bereits erhoben (Bütler et al. 2005, Müller und Bütler 2010).

In Urwäldern oder zumindest sehr naturnahen, alten Wäldern wird die höchste Artenvielfalt vermutet. Somit gelten die quantitative und qualitative Ausstattung dieser Wälder mit Totholz und Habitatbäumen als eine Art Referenz für Wirtschaftswälder. In Mitteleuropa sind solche alten, menschlich minimal beeinflusste Wälder aber wesentlich seltener als junge Bestände (Lassauce et al. 2013). Darum sind solche Referenzsetzungen für das forstliche Management bewirtschafteter Wälder nur bedingt geeignet – sowohl in ihrer Erhebung als auch ihrer Referenzwirkung. Dies gilt insbesondere für Eichenbestände, denn nach der Bundeswaldinventur 3 (Thünen-Institut 2016) sind nur knapp 21 % der Eichenwaldflächen Deutschlands älter als 140 Jahre und selbst mit diesem Alter physiologisch immer noch „jung“. Neuere Studien haben zudem gezeigt, dass beachtenswerte Vorkommen von Biodiversität (Artenanzahlen nach unterschiedlichen ökologischen Gilden) auch in klein-dimensionierten Habitatstrukturen gefunden werden können, die auch in jungen Beständen anzutreffen sind (Schiegg 2001, Brin et al. 2011). Aus diesem Grund sollten junge Bestände bei der Bewertung von Habitatfunktionen von Forsten ebenfalls berücksichtigt werden. Allerdings ist insbesondere das Wissen um die Habitatstrukturen in jungen (Eichen-)Beständen gering, wodurch die Bewertung ihres Anteils an der Gesamthabitatfunktion in einem forstlichen Ökosystem schwierig ist. Trotz des minimalen Kenntnisstandes um die Habitatfunktion in jungen Beständen, werden forstliche Maßnahmen wie Durchforstung und Pflege in ihrer Wirkung auf die Biodiversität grundsätzlich negativ eingeschätzt (Müller et al. 2007b, Paillet et al. 2009, Bouget et al. 2012b).

Die vorliegende Studie soll einen Beitrag zur Klärung der Fragen leisten, ob junge Eichenbestände Habitatstrukturen in Form von Totholz und Habitatbäumen offerieren und wie ein fallweiser Durchforstungseinfluss auf diese wirkt.



## 6.2 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel werden die erhobenen Daten und die zu ihrer Analyse verwendeten Methoden dargestellt.

### 6.2.1 Datenerhebung

Ende des Jahres 2012 sowie zum Beginn des Jahres 2013 wurden in jedem der 40 Versuchsplots des Traubeneichenpflegeversuchs im Zuge einer Vollaufnahme von jedem Baum die Baumart, der BHD sowie der Vitalitätsstatus (lebendig oder tot) aufgenommen. Den Studien von Winter und Möller (2008) sowie Vuidot et al. (2011) folgend, wurden Bäume als Habitatbäume identifiziert, wenn sie Höhlungen, Rindentaschen, Nester oder abgebrochene Starkäste aufwiesen. Diese Strukturen stehen für aktuelle oder zumindest potentielle Lebensräume von Organismen wie Vögel, Insekten oder Fledermäuse. Zur Klassifizierung als Habitatbaum reichte hierbei das Auftreten einer einzigen Struktur. Zusätzlich wurden lebende Bäume, die besonders spitze Astwinkel von Grobästen aufwiesen, als potentielle Habitatbäume bestimmt, auch wenn sie aktuell noch keine Habitatfunktion ausübten. Aufgrund potentieller Astausbrüche wurde für diese Bäume eine fallweise Habitatbaumfunktion in der Zukunft angenommen. Für 532 derart identifizierte Bäume wurden jeweils acht Kronenradien nach den Haupthimmelsrichtungen mittels der Tangential-Hochblick-Methode abgelotet (Preuhsler 1979, Röhle 1986). Aus den errechneten Kronenschirmflächen der Habitatbäume konnte ihr Anteil an der Bestandesüberschirmung abgeleitet werden. Zusätzlich wurden in jedem der 40 Versuchsplots zehn abgestorbene Eichen zufällig gewählt, deren BHD über das gesamte in der jeweiligen waldbaulichen Behandlung vorkommende Spektrum reichte. Von diesen 400 Individuen wurde die Höhe mittels Vertex IV gemessen. Aus diesen Messungen wurden im Anschluss Totholzhöhenkurven in Korrelation zum BHD errechnet.

Um das Potential der Gesamttotholzbildung zu ermitteln, wurden in den Kontrollplots Inventurkreise von 100 m<sup>2</sup> ( $r = 5,64$  m) eingerichtet. Innerhalb dieser Inventurkreise wurde das gesamte Totholz mit einem Durchmesser größer als 4 cm erhoben. Hierbei wurden von jedem Totholzstück sowohl die Länge als auch Zopf- und Stirndurchmesser vermessen. Über die Inventurkreisgrenze ragende Tothölzer wurden nur innerhalb des Aufnahmekreises berücksichtigt und vermessen. Auch vorkommende Baumstümpfe wurden in den Kontrollflächen erhoben.

Die Ergebnisse der Totholzaufnahmen in den Kontrollparzellen sind nicht auf Baumartniveau heruntergebrochen, da der hohe Zersetzungsgrad des liegenden Totholzes eine Bestimmung auf Artniveau teilweise nicht zuließ. Die Analyse des gesamten Totholzvorrats blieb auf die Kontrollparzellen beschränkt, da unterschiedliche Aufarbeitungsintensitäten der im Zuge von früheren Durchforstungen gefällten Bäume (liegendes Totholz) in den gepflegten Parzellen erfolgte. Nachdem in der Vergangenheit nicht alle Parzellen in gleicher Weise in

Brennholzflächenlose eingeteilt waren, konnte nicht sichergestellt werden, dass die aktuell vorhandenen Totholzvorräte rein durch die Pflegeeingriffe der Vergangenheit beeinflusst waren. Unverzerrte Ergebnisse waren darum nur für die Kontrollparzellen erzielbar.

### 6.2.2 Auswertungsmethoden

Aus den Rohdaten der Aufnahmen des Jahres 2012 wurden folgende Parameter abgeleitet und analysiert. Die Grundfläche (G) der Dürrständer wurde nach der Formel

$$G [qm] = BHD^2 [m] * \pi / 4$$

errechnet. Darüber hinaus wurde für alle Bäume, deren Krone nach den acht Haupthimmelsrichtungen abgelotet wurde, die Kronenschirmfläche (CC) nach der Formel

$$CC [m^2] = ((\sum r_{1-8}) / 8)^2 * \pi$$

errechnet. Hierbei stellt  $r_{1-8}$  die abgeloteten Kronenradien dar (Kramer & Dong 1985).

Die Herleitung der Gesamtüberschirmung durch Habitatbäume erfolgte mittels allometrischer Regressionsfunktionen der Form

$$(Kronendurchmesser [m] = b_0 + b_1 * BHD [cm])$$

die dem jeweiligen BHD der Habitatbäume einen Kronendurchmesser beziehungsweise eine Kronenschirmfläche zuordnete (Hemery et al. 2005).  $b_0$  und  $b_1$  sind hierbei die geschätzten Regressionskoeffizienten.

Aus den Kronendurchmessern wurde mittels der Kreisformel die Kronengröße abgeleitet. Die Kronengrößen wurden parzellenscharf aufsummiert, auf einen Hektar Bestandesfläche extrapoliert und referenziert. Als Datenbasis zur Herleitung der allometrischen Regressionsfunktionen wurden die Daten aktueller und potentieller Habitatbäume verwendet. Die so durch größere Datenumfänge stabilisierten Regressionsmodelle wurden aber zur Ermittlung der Überschirmung durch Habitatbäume nur für aktuelle Habitatbäume verwendet. Die Normalverteilung der Residuen wurde optisch geprüft. In den Versuchspartellen des Traubeneichenpflegeversuchs waren Habitatbäume sehr heterogen verteilt, wobei in manchen Plots gar keine aufzufinden waren. Die Regressionsmodelle wurden darum nur für die vier Behandlungsvarianten gerechnet ohne Berücksichtigung des Bestandesalters.

Basierend auf den Höhenmessungen der 400 dürren Eichen wurde eine Totholzhöhenkurve errechnet.

Ein lineares Regressionsmodell der Form

$$\text{Höhe [m]} = b_0 + b_1 * \text{BHD [mm]}$$

wurde hierfür verwendet (Husch et al. 2003).  $b_0$  und  $b_1$  sind hierbei die geschätzten Regressionskoeffizienten. Durch die abgeleiteten Höhen in Bezug zum BHD konnte jedem Dürrständer unter Verwendung eines Formfaktors von 0.5 ein Volumen zugeordnet werden. Diese auf Eichenkennwerten basierende Totholzhöhenkurve wurde auch für abgestorbene Buchen verwendet.

Das Volumen der Baumstümpfe wurde durch die Verwendung der Zylinderformel (Husch et al. 2003) errechnet, wobei die Höhe des Stumpfes mit seiner Kopffläche multipliziert wurde.

Dem liegenden Totholz wurde durch die Verwendung von drei Formeln ein Volumen zugeordnet. Diese drei Totholzformeln waren die Funktion nach Huber

$$\text{Totholzvolumen [m}^3\text{]} = \text{Fläche}_{\text{Mitte des Totholzstückes}} * \text{Länge}_{\text{Totholzstück}},$$

die Funktion nach Smalian

$$\text{Totholzvolumen [m}^3\text{]} = ((\text{Fläche}_{\text{Zopffläche des Totholzstückes}} + \text{Fläche}_{\text{Stirnfläche des Totholzstückes}}) / 2) * \text{Länge}_{\text{Totholzstück}}$$

sowie die Funktion nach Newton

$$\text{Totholzvolumen [m}^3\text{]} = ((\text{Fläche}_{\text{Zopffläche des Totholzstückes}} + 4 * \text{Fläche}_{\text{Mitte des Totholzstückes}} + \text{Fläche}_{\text{Stirnfläche des Totholzstück}}) / 6) * \text{Länge}_{\text{Totholzstück}}$$

Da jede dieser drei Formeln zu Über- bzw. Unterschätzung des tatsächlichen Totholzvolumens führt (Kramer und Akça 2008), wurde aus den pro Totholzstück errechneten drei Volumina das arithmetische Mittel gebildet und anschließend über alle Totholzstücke des jeweiligen Plots aufsummiert.

Da in jedem Bestand zwei Kontrollparzellen lagen, wurde für alle Analysen das arithmetische Mittel des jeweiligen zu analysierenden Faktors gebildet. Eine Normalverteilung der zu analysierenden Daten war bezüglich der zu vergleichenden Gruppen in dieser Studie nicht gegeben. Auch Transformationen führten, teils aufgrund zu geringer Stichprobenumfänge, nicht zu Normalverteilung und den Voraussetzungen zur Verwendung varianzanalytischer Verfahren. Auf Grund dessen wurden zur Datenanalyse und dem Vergleich von Gruppen nicht-

parametrische Analyseverfahren herangezogen. Vergleiche zwischen zwei Faktoren (Standort) wurden durch den Mann-Whitney-U-Test (MWU) vorgenommen. Waren mehr als zwei Faktoren zu vergleichen (Bestände, Behandlungen, Plots), wurde der Kruskal-Wallis-H-Test (KWH) verwendet (Field 2009). Das Signifikanzniveau lag bei zweiseitigem Test bei  $\alpha = 5\%$ . Die statistische Analyse erfolgte mit der statistischen Software SPSS Statistic Package for Social Science 19 (IBM SPSS Statistics 2011).

## 6.3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der naturschutzfachlichen Studie vorgestellt.

### 6.3.1 Stehendes Totholz

In jedem Plot des Traubeneichenpflegeversuchs wurden zehn abgestorbene Eichen über das lokal vorkommende BHD-Spektrum nach Höhe und BHD vermessen, in Summe waren dies 400 Probestämme. Die gemessenen BHD-Werte lagen zwischen 4 cm und 19 cm. Innerhalb dieses Messbereichs sind die Regression auf Basis linearer erklärender Variablen berechnet worden. Auf eine Abflachung der Höhenkurve mit zunehmenden Alter bzw. BHD wurde aufgrund der geringen Dimensionen des stehenden Totholzes in den noch jungen Beständen verzichtet, Extrapolationen über den definierten BHD-Bereich sind mit den im Folgenden vorgestellten Höhenfunktionen nicht möglich. Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen BHD und Höhe wurden für jeden einzelnen Bestand lineare Regressionsmodelle geschätzt. Demnach liegen jeder linearen Regressionsgleichung 80 Bäume als Stichprobenumfang zugrunde. Die Höhe des stehenden Totholzes wurde in der Form

$$\text{Höhe [m]} = b_0 + b_1 * \text{BHD [cm]}$$

gerechnet. Die statistischen Parameter der fünf Regressionsgleichungen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tab. 6.1: Statistische Parameter der linearen Regressionsfunktionen zur Bestimmung der Höhe in Abhängigkeit des BHD (SD = Standardabweichung) für stehendes Totholz

Bestand	R <sup>2</sup>	b <sub>0</sub>	SD	b <sub>1</sub>	SD	ß	p-Wert
„Jockel“	,32	1,74	1,19	1,03	,16	,57	<,000**
„Hehler“	,49	,84	,90	,97	,11	,70	<,000**
„Stinkgräben“	,56	1,40	1,06	1,05	,10	,75	<,000**
„Rindshügel“	,32	1,77	,94	,75	,12	,57	<,000**
„Ochsenau“	,59	,88	,92	,99	,09	,76	<,000**

Mittels der linearen Regressionsfunktionen konnte jedem toten Baum der Vollaufnahme über den entsprechenden BHD eine Höhe und dadurch ein Volumen zugeordnet werden.

### Eiche

Die Anzahl der toten Eichenstämme bewegte sich zwischen 320 (± 208 SD) und 1680 (± 470 SD) Stück pro Hektar über die einzelnen Behandlungsvarianten und Bestände. Getrennt nach Baumarten sind Anzahl und Volumen des stehenden Eichentotholzes für die einzelnen

Bestände in ihren jeweiligen Behandlungen in den Tabellen 6.2 (Anzahl) und 6.3 (Volumen) dargestellt.

Tendenziell sank die Anzahl der stehenden Eichentotholzstämme mit steigendem Alter der Bestände. Dieses Ergebnis war jedoch statistisch nicht signifikant (KWH (19) = 28,35;  $p > ,05$ ). Ebenso zeigte sich die Wirkung der Behandlung auf die Anzahl der stehenden Eichendürrständer als nicht statistisch signifikant wirkend (KWH (3) = 2,16;  $p > ,05$ ). Auch ein Standorteinfluss konnte auf die Anzahl der toten Eichenstämme nicht als signifikant identifiziert werden (MWU = 95,5;  $z = -1,22$ ;  $p > ,05$ ;  $r = -,21$ ). Die meisten stehenden toten Stämme fielen in die BHD-Klasse kleiner 10 cm. Eichentotholz mit einem stärkeren BHD als 10 cm trat kaum auf. In den beiden jüngsten Beständen wurde ein maximaler BHD von 20 cm festgestellt. Die Bestände der älteren natürlichen Wuchsklassen wiesen kaum stärkere Dimensionen von stehendem Eichentotholz auf, der stärkste tote Stamm fand sich im Bestand „Hehler“ mit 29 cm BHD.

Auch in Bezug auf das Volumen des stehenden Eichentholzes zeigte die Durchmesserklasse kleiner 10 cm BHD höhere Vorräte pro Hektar als die Durchmesserklasse größer 10 cm. Der Anteil der kleineren Durchmesserklasse lag zwischen 31 % und 95 % des stehenden Eichentholzes. Dies zeigte sich insbesondere in den beiden jüngsten Beständen, in denen auf die kleinere BHD-Klasse 81% des stehenden Eichentholzvorrats entfielen. Der stehende Eichentholzvorrat schwankte zwischen  $5,0 \text{ m}^3$  ( $\pm 2,1 \text{ SD}$ ) pro Hektar (im Bestand „Ochsenau“ in der Behandlung „3“) und  $28,2 \text{ m}^3$  ( $\pm 0,8 \text{ SD}$ ) (im Bestand „Stinkgräben“ in der Behandlung „0“). Nähere Informationen hierzu gibt Tabelle 6.4. In der Ausstattung mit Eichentholzvolumen unterschieden sich die fünf untersuchten Bestände signifikant voneinander (KWH (4) = 12,54;  $p < ,05^*$ ). Mit zunehmenden Bestandesalter steigt das vorhandene Totholzvolumen an. Die Art und Weise der Durchforstung konnte nicht als statistisch signifikant wirkend auf das Totholzvolumen der stehenden toten Eichen identifiziert werden (KWH (3) = 7,68;  $p > ,05$ ).

### **Buche**

Die Anzahl der stehenden toten Buchenstämme war auf den Versuchsfeldern wesentlich geringer als die der toten Eichen. Die Anzahl schwankte zwischen acht ( $\pm 8 \text{ SD}$ ) und 416 ( $\pm 270 \text{ SD}$ ) Stämmen pro Hektar (Tabelle 6.2). Ein statistisch signifikanter Zusammenhang von Alter und Behandlung ergab sich für die untersuchten Bestände nicht (KWH (19) = 26,43;  $p > ,05$ ). Analog zum stehenden Eichentotholz lag der größte Anteil von Buchendürrständern in der BHD-Klasse bis 10 cm und auch das höchste Volumen trat in dieser Durchmesserklasse auf.

Insgesamt war das Volumen des stehenden Buchentholzes geringer als das des stehenden Eichentholzes. Die einzige Ausnahme bildete der Bestand „Ochsenau“ (Stangenholz auf

Muschelkalk). In diesem Bestand waren die Vorräte an stehendem Buchentotholz statistisch signifikant höher als in den anderen untersuchten Beständen (KWH (4) = 19,76;  $p < ,001^*$ ) und erreichten hier bis zu  $10,7 \text{ m}^3$  ( $\pm 0,7 \text{ SD}$ ) pro Hektar in der Behandlungsvariante „3“ (starke positive Auslese). In diesem Bestand lag der Anteil der Buche am gesamten Vorrat an stehendem Totholz zwischen 6 % und 68 %, wohingegen in den anderen Beständen dieser Anteil zwischen 0 % und 21 % (mit einem Mittelwert von 10 %) lag. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Anteil der Buche am Vorrat des stehenden Totholzes gering ausfiel, mit Ausnahme des genannten Bestandes „Ochsenau“.

### 6.3.2 Gesamttotholz mengen in den Kontroll-Parzellen

Der Gesamtvorrat an Totholz einschließlich stehenden und liegenden Totholzes lag in den Kontrollparzellen zwischen  $23,8 \text{ m}^3$  ( $\pm 0,8 \text{ SD}$ ) und  $52 \text{ m}^3$  ( $\pm 6,5 \text{ SD}$ ) pro Hektar (Tabelle 6.4). Zwischen den fünf Beständen in der Kontrollvariante konnte keine signifikant unterschiedliche Ausstattung mit Totholzvolumen festgestellt werden (KWH (4) = 5,45;  $p > .05$ ). Demzufolge gibt es auch keinen Standorteinfluss. Der Anteil des stehenden Totholzes am gesamten Totholzvorrat beträgt in den Kontrollflächen rund die Hälfte (36 % bis 74 %). Baumstümpfe hatten lediglich einen geringen Anteil an der Gesamttotholzmasse der Kontrollplots. Im Bestand „Hehler“ (Stangenholz auf Buntsandstein) machten sie 18% aus, in den vier anderen Beständen lag ihr Anteil unter 10%, wobei sie im „Rindshügel“ (Dickung auf Muschelkalk) und in den „Stinkgräben“ (Baumholz auf Buntsandstein) mit 0% Anteil keinerlei Bedeutung hatten. Überraschender Weise wurde der höchste Vorrat an Totholz pro Hektar nicht im ältesten Bestand, sondern in der „Ochsenau“ (Stangenholz auf Muschelkalk) festgestellt. Dies gründet sich neben dem allgemein hohen Niveau der Totholzausstattung auf den hohen Vorrat an Buchentotholz (siehe Kapitel 6.3.1). Hier enthielten selbst die jüngsten Bestände (zum Aufnahmezeitpunkt etwa 40 Jahre alt) im Schnitt  $23,8 \text{ m}^3$  ( $\pm 0,8 \text{ SD}$ ) Totholz pro Hektar auf Muschelkalk und  $35,3 \text{ m}^3$  ( $\pm 5,7 \text{ SD}$ ) pro Hektar auf Buntsandstein.

Tab. 6.2: Anzahl [N/ha] stehenden Totholzes nach Baumart und Brusthöhendurchmesser in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)

Durchforstungsregime		"0"				"1"				"2"				"3"			
Bestand		Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche	
	BHD	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV
„Jockel“	≤ 10cm	944	12	8	100	1664	29	120	60	1328	47	24	100	504	2	104	84
	> 10cm	24	33	0	x	16	100	8	100	16	100	0	x	8	100	0	x
	<b>Summe</b>	<b>968</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>100</b>	<b>1680</b>	<b>28</b>	<b>128</b>	<b>63</b>	<b>1344</b>	<b>48</b>	<b>24</b>	<b>100</b>	<b>512</b>	<b>0</b>	<b>104</b>	<b>84</b>
„Hehler“	≤ 10cm	600	1	184	30	648	41	48	33	640	3	64	25	1104	13	248	16
	> 10cm	120	33	0	x	40	20	0	x	16	100	0	x	48	100	0	x
	<b>Summe</b>	<b>720</b>	<b>7</b>	<b>184</b>	<b>30</b>	<b>688</b>	<b>37</b>	<b>48</b>	<b>33</b>	<b>656</b>	<b>5</b>	<b>64</b>	<b>25</b>	<b>1152</b>	<b>17</b>	<b>248</b>	<b>16</b>
„Stinkgräben“	≤ 10cm	355	1	145	86	515	7	205	41	390	3	75	60	435	13	40	75
	>10cm	230	9	0	x	110	18	20	0	120	42	25	20	115	4	5	100
	<b>Summe</b>	<b>585</b>	<b>8</b>	<b>145</b>	<b>86</b>	<b>625</b>	<b>9</b>	<b>225</b>	<b>37</b>	<b>510</b>	<b>8</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>550</b>	<b>9</b>	<b>45</b>	<b>55</b>
„Rindshügel“	≤ 10cm	568	41	328	90	1672	15	64	75	936	6	72	55	816	2	40	60
	> 10cm	8	100	0	x	8	100	0	x	24	33	0	x	8	100	0	x
	<b>Summe</b>	<b>576</b>	<b>42</b>	<b>328</b>	<b>90</b>	<b>1680</b>	<b>15</b>	<b>64</b>	<b>75</b>	<b>960</b>	<b>5</b>	<b>72</b>	<b>55</b>	<b>824</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
„Ochsenau“	≤ 10cm	392	2	280	14	488	15	312	12	528	42	408	64	304	68	288	16
	> 10cm	144	56	8	100	112	71	32	0	32	0	8	100	16	0	64	0
	<b>Summe</b>	<b>536</b>	<b>16</b>	<b>288</b>	<b>11</b>	<b>600</b>	<b>25</b>	<b>344</b>	<b>11</b>	<b>560</b>	<b>40</b>	<b>416</b>	<b>65</b>	<b>320</b>	<b>65</b>	<b>352</b>	<b>13</b>



Tab. 6.3: Volumen[m<sup>3</sup>/ha] stehenden Totholzes nach Baumart und Brusthöhendurchmesser in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)

	BHD	"0"				"1"				"2"				"3"			
		Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche	
		V	CV	V	CV	V	CV	V	CV	V	CV	V	CV	V	CV	V	CV
„Jockel“	≤ 10cm	14,5	24	0	100	14,0	6	2,1	69	9,0	42	0,1	100	4,5	17	0,2	96
	> 10cm	4	56	0	x	1,2	100	0,4	100	2,4	100	0	x	1,7	100	0	x
	<b>Summe</b>	<b>18,5</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>15,2</b>	<b>2</b>	<b>2,6</b>	<b>74</b>	<b>11,5</b>	<b>54</b>	<b>0,1</b>	<b>100</b>	<b>6,2</b>	<b>16</b>	<b>0,2</b>	<b>96</b>
„Hehler“	≤ 10cm	11,8	19	0	32	9,0	25	0	21	8,0	7	0	78	10,4	2	0,4	17
	> 10cm	8,1	21	0	x	3,4	53	0	x	0,8	100	0	x	13,1	100	0	x
	<b>Summe</b>	<b>19,9</b>	<b>19</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	<b>12,5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>8,8</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>78</b>	<b>23,5</b>	<b>55</b>	<b>0,4</b>	<b>17</b>
„Stinkgräben“	≤ 10cm	8,7	15	3,3	99	10,9	11	0,1	33	9,5	8	2,3	84	8,3	12	0,1	76
	>10cm	19,5	2	0	x	14,2	27	1,1	0	9,5	58	2,6	35	8,2	3	0,3	100
	<b>Summe</b>	<b>28,2</b>	<b>3</b>	<b>3,3</b>	<b>99</b>	<b>25,2</b>	<b>10</b>	<b>1,3</b>	<b>3</b>	<b>19,0</b>	<b>33</b>	<b>5,0</b>	<b>58</b>	<b>16,5</b>	<b>5</b>	<b>0,4</b>	<b>58</b>
„Rindshügel“	≤ 10cm	7,3	33	0,7	91	12,6	7	0,2	96	9,6	32	0	51	5,1	2	0	99
	> 10cm	0,4	100	0	x	0,7	100	0	x	1,1	36	0	x	0,3	100	0	x
	<b>Summe</b>	<b>7,7</b>	<b>36</b>	<b>0,7</b>	<b>91</b>	<b>13,3</b>	<b>13</b>	<b>0,2</b>	<b>96</b>	<b>10,7</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>51</b>	<b>5,5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>99</b>
„Ochsenau“	≤ 10cm	8,6	22	0,7	18	9,4	15	2,1	1	7,4	30	3,1	40	4,0	53	2,3	63
	> 10cm	10,7	56	0,5	100	7,1	73	4,6	55	2,2	7	0,3	100	0,9	6	8,3	27
	<b>Summe</b>	<b>19,4</b>	<b>41</b>	<b>1,2</b>	<b>29</b>	<b>16,6</b>	<b>40</b>	<b>6,7</b>	<b>38</b>	<b>9,6</b>	<b>25</b>	<b>3,5</b>	<b>47</b>	<b>5,0</b>	<b>42</b>	<b>10,7</b>	<b>7</b>

Tab. 6.4: Volumen [m3 pro ha] des Totholzes nach unterschiedlichen Kompartimenten in den Kontrollflächen der fünf untersuchten Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)

	<b>liegendes Feinholz</b>	<b>CV</b>	<b>liegendes Derbholz</b>	<b>CV</b>	<b>Baum- stümpfe</b>	<b>CV</b>	<b>gesamtes liegendes Totholz</b>	<b>CV</b>	<b>Dürrständer</b>	<b>CV</b>	<b>gesamtes Totholz</b>	<b>CV</b>
„Jockel“	14,5	26,8	0	x	2,3	25,2	16,8	26,5	18,6	7,6	35,4	16,3
„Hehler“	13,5	11,8	0	x	7,5	58,8	21,0	13,4	20,0	19,2	41,0	16,3
„Stinkgräben“	11,2	52,7	0	x	0	X	11,2	52,7	31,6	7,6	42,8	8,2
„Rindshügel“	15,3	19,3	0	x	0	X	15,3	19,3	8,5	25,1	23,9	3,4
„Ochsenau“	21,8	10,8	0,8	100	4,3	100	26,9	10,1	25,2	14,9	52,1	12,4

### 6.3.3 Habitatbäume

#### Bestandesgrundfläche

Hinsichtlich der Flächenausstattung mit Habitatbäumen konnten Buchen häufiger als Habitatbäume identifiziert werden als Eichen. Ein wesentlicher Grund hierfür war das bei den vergangenen Pflegeeigriffen praktizierte „Köpfen“ durchstechender Buchen, welches analog zu Kopfweiden in der Landschaftspflege, intensive Strukturen bilden ließ. Da die zumeist unterständigen Buchen aber geringere Durchmesser aufwiesen als die Eichen, fällt ihr Beitrag zur Bestandesgrundfläche der Habitatbäume im Vergleich zur Eiche gering aus (vgl. Tabellen 6.5 – 6.6). Die Bestandesgrundfläche der Buchen in Habitatbaumfunktion schwankte zwischen  $0 \text{ m}^2$  ( $\pm 0,0 \text{ SD}$ ) und  $0,7 \text{ m}^2$  ( $\pm 0,4 \text{ SD}$ ), ausgenommen der Kontrollplots im Bestand „Ochsenau“. In diesem Bestand wurde mit  $2,98 \text{ m}^2$  ( $\pm 2,3 \text{ SD}$ ) eine signifikant größere Habitatbaumgrundfläche erreicht als in den korrespondierenden Nullflächen der anderen Bestände (KWH (4) = 9,49;  $p < ,05^*$ ).

Im ältesten Bestand waren die Anzahl und Bestandesgrundfläche der Habitatbäume auffallend gering und im intensivsten Durchforstungsregime „3“ fehlten Habitatbäume völlig. Darüber hinaus konnten zumindest herrschende oder vorherrschende Buchen nur in der „Ochsenau“ auf Muschelkalk beobachtet werden, ansonsten war nur die Baumart Eiche als dominierende Baumart in der Bereitstellung von Habitatstrukturen beteiligt. Für die Bestandesgrundfläche von Eichen in Habitatbaumfunktion ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang von Alter und Behandlung für die untersuchten Bestände (KWH (19) = 24,18;  $p > ,05$ ).

Die Bestandesgrundfläche der Habitatbäume gleich welcher Baumart war statistisch weder von der Art der Durchforstung (KWH (3) = 4,65;  $p > ,05$ ) noch vom Standort (ältester Bestand „Stinkgräben“ aufgrund fehlendem Komplement auf Muschelkalk aus der Analyse ausgeschlossen; MWU = 115;  $z = -,49$ ;  $p > ,05$ ;  $r = -,08$ ) beeinflusst.

Tab. 6.5: Anzahl der Habitatbäume nach Baumart in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)

	Durchforstungsregime															
	"0"				"1"				"2"				"3"			
	Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche	
	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV	N	CV
„Jockel“	72	33	8	100	64	25	328	80	56	14	152	68	40	20	96	0
„Hehler“	16	100	64	75	8	100	8	100	8	100	224	64	16	100	56	14
„Stinkgräben“	25	60	75	100	5	100	25	60	20	100	0	x	0	x	0	x
„Rindshügel“	0	x	24	33	72	33	24	100	16	0	48	33	0	x	80	80
„Ochsenau“	64	25	144	11	16	100	88	45	40	20	40	20	48	100	160	10

Tab. 6.6: Grundfläche [m<sup>2</sup> pro ha] der Habitatbäume nach Baumart in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)

	Durchforstungsregime															
	"0"				"1"				"2"				"3"			
	Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche		Eiche		Buche	
	G	CV	G	CV	G	CV	G	CV	G	CV	G	CV	G	CV	G	CV
„Jockel“	1,14	82	0,14	100	0,30	35	0,70	63	1,16	96	0,58	75	0,18	27	0,48	10
„Hehler“	0,22	100	0,18	91	0,27	100	0,00	100	0,14	100	0,36	60	0,06	100	0,11	0
„Stinkgräben“	1,18	45	0,09	100	0,03	100	0,17	41	0,44	100	0,00	x	0,00	x	0,00	x
„Rindshügel“	0,00	x	0,30	99	0,36	56	0,10	100	0,30	78	0,07	11	0,00	x	0,10	33
„Ochsenau“	1,58	8	2,98	78	0,29	100	0,41	22	0,86	4	0,10	38	2,00	100	0,46	3

### Überschirmungsprozente

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse basieren lediglich auf Daten der Baumart Eiche, da der Beitrag der Baumart Buche zur Überschirmung der Fläche als unterständige Baumart marginal ausfiel. Die einzige Ausnahme bildete der Bestand „Ochsenau“. Dieser ließ aber aufgrund geringen Stichprobenumfangs keine eingehendere Analyse zu, sodass dieser Umstand in der folgenden Analyse unbeachtet gelassen wird.

Die Überschirmung wurde über eine lineare Regressionsfunktion der Form  

$$\text{Kronenbreite [cm]} = b_0 + b_1 \cdot \text{BHD [mm]}$$

gerechnet. Jedem Biotopbaum wurde so eine Kronenprojektionsfläche zugeordnet. Die aufsummierten Kronenprojektionsflächen auf einen Hektar ergaben die Überschirmungsprozente. Es wurden vier lineare Regressionsfunktionen (eine pro Behandlungsvariante) gerechnet, die statistischen Parameter sind in Tabelle 6.7 dargestellt.

Tab. 6.7: Statistische Parameter der linearen Regressionsfunktionen zur Bestimmung der Kronenbreite in Abhängigkeit des BHD (SD = Standardabweichung)

Durchforstungsregime	N	R <sup>2</sup>	b <sub>0</sub>	SD	b <sub>1</sub>	SD	β	p-Wert
„0“	125	,70	-15,78	26,31	2,19	,12	,83	<,000**
„1“	119	,70	-6,12	28,18	2,27	,13	,84	<,000**
„2“	146	,66	16,45	27,44	2,17	,12	,81	<,000**
„3“	124	,62	38,49	32,34	2,07	,14	,79	<,000**

Die Überschirmung durch Habitatbäume schwankte zwischen 0 % (± 0,0 SD) und 10 % (± 10,0 SD) (Abbildung 6.1). Zwischen den fünf Beständen konnten keine signifikanten Unterschiede in der mittleren Überschirmung durch Habitatbäume nachgewiesen werden (KWH (4) = 7,93; p >,05) und auch der Standort erwies sich in einem Vergleich der Habitatbaumüberschirmungsprozente als nicht signifikant wirkendes Unterscheidungskriterium (ältester Bestand „Stinkgräben“ aus der Analyse ausgeschlossen, da kein Komplement auf Muschelkalk vorhanden war; MWU = 123; z = -,19; p >,05; r = -,03). Das Durchforstungsregime „1“ (Negativauslese) führte in allen untersuchten Beständen zu geringen Überschirmungsprozente durch Habitatbäume, es lag im Durchschnitt über alle Bestände bei 1,2 %. Im Vergleich zu den anderen Durchforstungsvarianten sticht dieser Wert heraus, doch dieser Unterschied erwies sich als statistisch nicht signifikant (KWH (3) = 5,27; p >,05). In den Kontrollparzellen, die seit Versuchsbeginn unbehandelt sind, waren die Überschirmungsprozente durch Habitatbäume nicht größer als in den gepflegten Durchforstungsvarianten. Überdies konnten die höchsten Anteile von Biotopbäumen an der Gesamtüberschirmung in den am intensivsten gepflegten Varianten (Pfleger regime „3“) beobachtet werden.

Die hier vorgestellten Überschirmungsprozente müssen als unterer Grenzwert einer objektiven Beurteilung von Habitatbaumhäufigkeiten angesehen werden, da die Ergebnisse nur auf hauptständigen Eichen beruhen und vereinzelt vorkommende Buchen, die ebenso Habitatfunktion erfüllen, unberücksichtigt blieben.

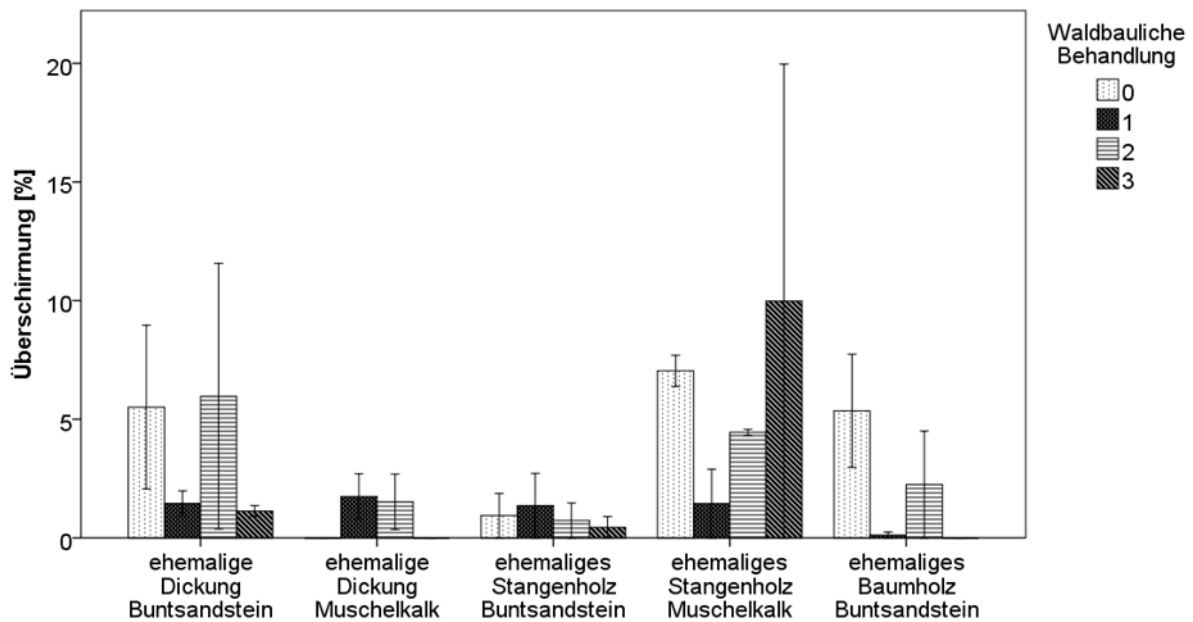


Abb. 6.1: Überschirmungsprozente durch Eichen in Habitatbaumfunktion in den fünf Beständen und jeweils vier Behandlungsvarianten des Traubeneichenpflegeversuchs. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

### Wirkung der Durchforstung aus dem Jahr 2012 auf die Biotopbäume

Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf dem Versuchsprogramm des Traubeneichenpflegeversuchs wie es in Kapitel 3.2 beschrieben wurde. Aspekte des Naturschutzes, wie beispielsweise der Erhalt oder die Begünstigung von Habitatbäumen, war hierbei nicht Teil der Versuchsentention und wurde konsequenterweise auch nicht fokussiert. Die Abbildungen 6.2 und 6.3 zeigen die Brusthöhendurchmesser und die Grundflächen der aktuell als Habitatbäume dienenden Eichen in den jeweiligen Durchforstungsregimes vor und nach dem Durchforstungseingriff aus dem Jahr 2012. In Summe wurden jeweils nur neun Eichen und neun Buchen entnommen. Diese geringe Anzahl entspricht weniger als 1 % der angetroffenen Biotopbäume. Diese vernachlässigbare Anzahl zeigt die marginale Bedeutung, die der Durchforstungseingriff im Jahr 2012 auf die Habitatbäume auszuüben vermochte. Statistische Analysen waren darum auch nicht rechenbar, da 18 entnommene Bäume in 40 potentiell möglichen Konstellationen die Voraussetzungen für Analysen nicht erfüllten.

In der ehemaligen Dichtung auf Muschelkalk im Durchforstungsregime „2“ wurde der BHD der Habitatbäume durch die Durchforstung rechnerisch halbiert. Die anderen Versuchspartzen außer den klassischen Negativauslesen waren hingegen nur marginal betroffen. Die Durchforstung im Jahr 2012 beeinflusste die Grundfläche der Habitatbäume zwar offensichtlich stärker als die BHDs, aber auch hier war der Effekt sehr gering und nicht statistisch absicherbar. Allerdings kann festgehalten werden, dass in der klassischen Negativauslese zweimalig die Biotopbäume komplett entnommen (in den Beständen

„Ochsenau“ (Stangenholz auf Muschelkalk) und „Stinkgräben“ (Baumholz auf Buntsandstein)) wurden, allerdings war ihre Anzahl bereits vor dem Eingriff sehr gering.

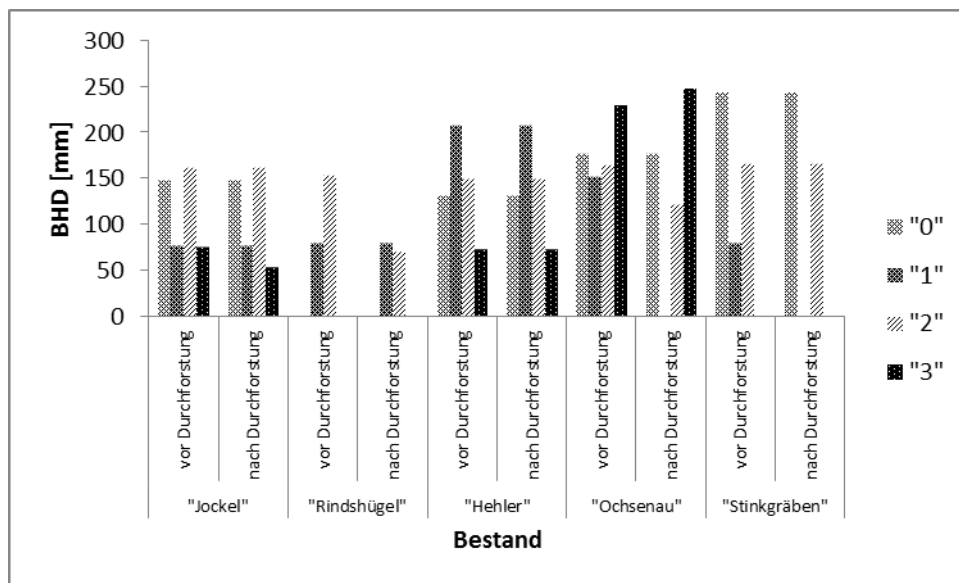


Abb.6.2: Brusthöhendurchmesser [mm] der Habitateichen vor und nach Durchforstung in den jeweiligen Pflegeregimes in allen Beständen

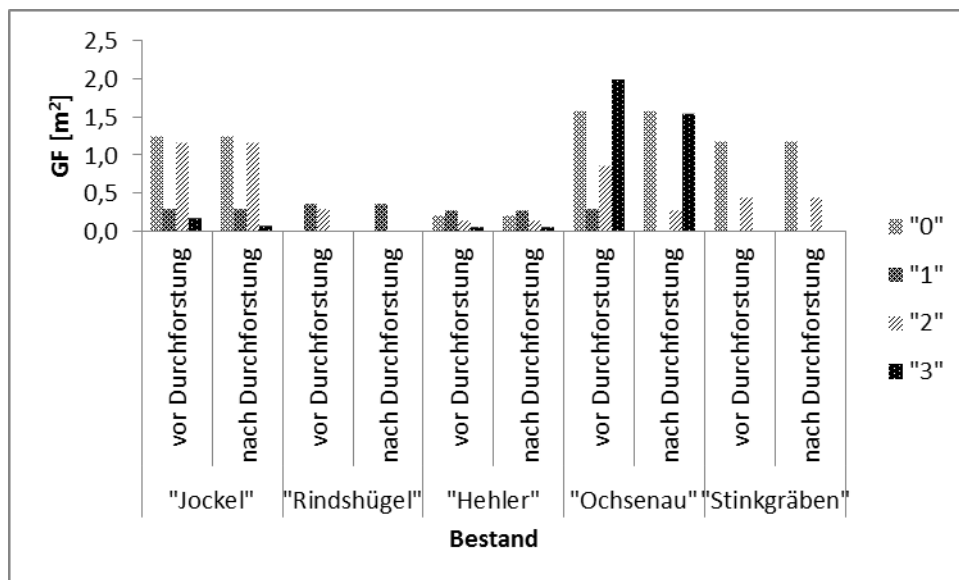


Abb.6.3: Grundfläche [m²/ha] der Habitateichen vor und nach Durchforstung in den jeweiligen Pflegeregimes in allen Beständen

## **6.4 Diskussion**

Die hier vorgestellte Diskussion bezieht sich nicht auf die in Kapitel 1.2 angeführten Hypothesen, denn diese werden in Kapitel 7 zusammenfassend unter Beachtung aller drei Teilstudien dieser Arbeit besprochen.

### **6.4.1 Diskussion der Methoden**

Diese Studie basiert auf summarischen Werten aus lediglich zwei Versuchsplots pro Behandlungsregime, Bestandesalter und Standort. Aufgrund dessen erfolgten die statistischen Gruppenvergleiche nicht-parametrisch und sind damit in Ihrer Aussagekraft nicht so verlässlich wie varianzanalytische Analysen (Field 2009). Die Ergebnisse, die diese Studie liefert, sind daher mit besonderer Sorgfalt und Zurückhaltung zu interpretieren.

### **6.4.2 Diskussion der Ergebnisse**

Da bis dato keine vergleichbaren Untersuchungen im Themenfeld „Naturschutz in bewirtschafteten jungen Eichenbeständen“ durchgeführt wurden, liefern die erzielten Ergebnisse einen wertvollen Beitrag in diesem Bereich. So finden sich in der Literatur kaum Angaben über Angebot an Totholz und Habitatbäumen in jungen und homogen aufgebauten Eichenbeständen. Die meisten Studien, die sich mit Totholz und Habitatbäumen befassen, wurden in alten und oder gemischten Beständen durchgeführt, für die zwar ein langfristiges forstliches Management angegeben, aber nicht näher nach Eingriffsturnussen und -stärken differenziert wird (Kirby et al. 1991, Green & Peterken 1997, Lassauce et al. 2012). Darüber hinaus existieren keine genormten Durchmessergranzwerte für Totholzaufnahmen und auch hinsichtlich der Aufnahmemethoden gibt es große Unterschiede. Diesem Umstand wurde in jedem Literaturvergleich, der in dieser Arbeit vorgenommen wurde durch Berücksichtigung nur methodisch vergleichbar gewonnener Ergebnisse Rechnung getragen.

In diese Studie wurden auch die Mengen an feinem Totholz in die Gesamtotholzmenge integriert. Unter feinem Totholz versteht man gemeinhin Totholz mit einen Durchmesser kleiner als 10 cm (Nordén et al. 2004). In dieser Studie wurden 4 cm als Aufnahmeschwelle definiert.

### **Totholz und Durchforstungsregime**

In den untersuchten Kontrollparzellen war der größte Anteil des liegenden Totholzes Feinholz mit weniger als 10 cm Durchmesser. In den gepflegten Versuchsplots war ein großer Anteil des stehenden Totholzes ebenfalls kleiner als 10 cm Brusthöhendurchmesser. Feines Totholz wurde bezüglich seines naturschutzfachlichen Wertes in der Vergangenheit wesentlich weniger beachtet als Derbholz größerer Dimensionen. Allerdings zeigen Studien von Schiegg



(2001) und Brin et al. (2011), dass sich auch an feinem Totholz beachtenswerte Anzahlen von Arten und Gilden totholzbewohnender Insekten nachweisen lassen. Darüberhinaus konnten Bouget et al. (2012a) zeigen, dass stehendes Totholz selbst in geringer Dimension für saproxylische Käfer eine wichtigere Funktion ausübt als Liegendes. Allerdings nahm auch mit zunehmendem Durchmesser des toten Stammes die Attraktivität für saproxylische Käfer zu. In vorliegender Untersuchung fand hingegen hauptsächlich totes Feinholz kleiner Dimension, sowohl stehend als auch liegend, Berücksichtigung. Sweeney et al. (2010) berichten, dass in irischen Eichenwäldern, die 120 Jahre älter waren als die untersuchten Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs, stehendes Totholz stärkerer Dimension fehlte. 61 % der Eichendürrstände der irischen Eichenforste hatten einen BHD kleiner 10 cm. Im Traubeneichenpflegeversuch lag dieser Wert im Mittel bei 35 %, Extremwerte betragen bis zu 70 %. Speziell für stehendes Buchentotholz berichten Brunet & Isacsson (2009), dass es von großer Wichtigkeit im saproxylischen Käferschutz ist, in forstlichen Landschaften unterschiedliche Dimensionen und Zersetzungstadien zu erhalten. Es ist jedoch offensichtlich, dass junge Traubeneichenbestände mit Buchennebenbestand keine nennenswerten Mengen an totem Starkholz aufweisen. Nichtsdestotrotz werden nennenswerte Mengen an totem Feinholz gebildet und somit ein Beitrag zur Gesamthabitatfunktion und -qualität einer forstlichen Landschaft geleistet.

Eine Studie in Eichenbeständen in der Schweiz zeigt, dass Durchforstungen den Vorrat an Totholz (> 5 cm) im Vergleich zu undurchforsteten Vergleichsbeständen um zwei Drittel reduzierten (Bretz Guby & Dobbertin 1996). Hierbei fiel der Totholzvorrat von 19,7 m<sup>3</sup> auf 6,3 m<sup>3</sup> pro Hektar. In der hier vorliegenden Studie wurde nur der Vorrat an stehendem Totholz in den unterschiedlichen Pflegeregimes untersucht. In Einzelfällen (Dickung auf Buntsandstein) wurden ähnliche Totholz-reduzierende Effekte festgestellt, wie sie von Bretz Guby & Dobbertin (1996) beschrieben werden. Andererseits konnten in der Dickung auf Muschelkalk in den gepflegten und durchforsteten Varianten ein höherer Anteil an stehendem Totholz festgestellt werden als in den stillgelegten Kontrollparzellen. Es ließ sich jedoch kein signifikanter Zusammenhang von Standort oder Behandlung mit der auftretenden Anzahl an Eichendürrständen ermitteln. Der Vorrat an stehendem Eichentotholz war lediglich vom Bestandesalter beeinflusst.

In einer pan-europäischen Studie präsentieren Travaglini & Chirici (2006) Ergebnisse zu Totholzvorräten in eichen-dominierten Wäldern bei ähnlichem methodischen Vorgehen wie in vorliegender Studie. In den allermeisten Fällen zeigen die Versuchsplots des Traubeneichenpflegeversuchs höhere Totholzvorräte, als die in Alter und Baumartenzusammensetzung ähnlichen europäischen Bestände nach deren Stilllegung (Travaglini & Chirici 2006). Gerade was das Volumen des stehenden Totholzes anbelangt war es bemerkenswert, dass in den gepflegten Varianten des Traubeneichenpflegeversuchs mehr

stehendes Totholzvolumen vorzufinden war als in den pan-europäischen Vergleichsbeständen insgesamt. Nichts desto trotz muss berücksichtigt werden, dass verschiedene Eichenarten (*Quercus petraea*, *Q. robur* und *Q. cerris*), diverse Standorte und klimatische Ausgangsbedingungen miteinander verglichen wurden. Darum sind diese Vergleiche als tendenzielle Einwertung zu verstehen. Dennoch lässt sich folgender Schluss aus dem Vergleich mit anderen Studien ziehen: In jungen aus Saat hervorgegangenen Traubeneichenbeständen ist das Potential zur Bildung von nennenswerten Mengen an (feinem) Totholz groß und in der ökologischen Bewertung in der forstlichen Praxis bis dato unterschätzt. Selbst in intensiven Durchforstungsregimes wird von jungen Traubeneichenbeständen ein bemerkenswerter ökologischer Beitrag zur Habitatfunktion von forstlichen Landschaften geleistet.

Andererseits reichen die im Traubeneichenpflegeversuch vorgefundenen Volumina an Gesamtotholz nicht aus, um empfohlene Grenzwerte zu überschreiten, die eine hohe und stabile Biodiversität in temperaten (Eichen-)Wäldern sichern sollen. Diese Grenzwerte für eine adäquate Totholzausstattung beziehen sich in der Regel auf Derbholz, welches im Traubeneichenpflegeversuch nur in geringer Masse vorhanden ist. Grundsätzlich kann zur Menge an Totholz und seiner Funktion auf den Waldlebensraum gesagt werden, dass umso mehr Totholz vorhanden ist, desto reicher wird die saproxyliche Fauna (Müller et al. 2008). Ammer (1991) sowie Hilt & Ammer (1994) nennen für eine adäquate Habitatausstattung für saproxyliche Käfer Totholz-Vorratsgrenzwerte zwischen 5 m<sup>3</sup> und 30 m<sup>3</sup> pro Hektar. Neuere Studien besagen, dass zumindest 30 m<sup>3</sup> bis 50 m<sup>3</sup> Totholz pro Hektar für den Erhalt einer Großzahl von saproxylichen Käfern vorhanden sein müssen (Müller & Bütler 2010). Für von Buchen dominierte Waldökosysteme empfehlen Müller et al. (2007a) mindestens 60 m<sup>3</sup> Totholz pro Hektar, damit ein Grad an Artenreichtum gesichert werden kann, der als naturnah angesehen werden darf.

Die jungen Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs erreichen solch hohe Schwellenwerte einer Totholzausstattung nicht. Sie erreichen diese nicht nur aufgrund der geringen Dimension des vorgefundenen Totholzes nicht, sondern auch, weil dieses klein-dimensionierte Totholz hoch-dynamisch über die Zeit verrottet. Die Habitatqualität kann sich demnach sehr rasch ändern, da fallweise hohe Volumina binnen kurzer Zeit mineralisiert werden können. Trotzdem wurden, gerade unter der Berücksichtigung, dass auch kleinere Totholzdimensionen wertvoll für den Artenreichtum wirken können, beachtliche Totholz mengen in den Versuchspartellen des Traubeneichenpflegeversuchs vorgefunden. Somit ist es begründet und richtig, junge und bewirtschaftete Eichenbestände in einer Bewertung der Habitatfunktion forstlicher Landschaften mit einzubeziehen.

### **Habitatbäume und Durchforstungsregime**

Lebende Habitatbäume und stehendes Totholz werden in der Literatur nicht immer funktional und konsequent in der Terminologie unterschieden. In dieser Diskussion werden nur lebende Eichen als Habitatbäume berücksichtigt und stehendes Totholz nicht zu den Habitatbäumen gerechnet. Darüber hinaus waren die meisten Dürrständer von geringer Dimension und eine Einbeziehung in die Gruppe der Habitatbäume erschien darum nicht konsequent. Es kann diskutiert werden, ob in jungen Wäldern Habitatbäume ob ihrer geringen Dimension überhaupt als solche definiert und anerkannt werden sollten. Darüber hinaus beherbergen junge Bestände weniger Individuen und weniger Spezies der saproxylichen Gilden als alte Bestände (Grove 2002, Larrieu & Cabanettes 2012). Diese Argumente scheinen gegen eine Berücksichtigung von Habitatbäumen in Jungbeständen zu sprechen. Trotz dieser Überlegungen sind eine Vielzahl von Organismen in Jungbeständen anzutreffen, die abhängig von Bäumen sind, die Mikrohabitate und Strukturen bieten (Schiegg 2001, Brin et al. 2011). Diese Bäume sind Habitatbäume, zumal größer dimensionierte Bäume für Habitatstrukturen oftmals in unmittelbarer Nähe nicht verfügbar sind.

Durchforstungsansätze, die in der Literatur als „gewöhnlich“, „normal“ oder „typisch“ benannt werden, stehen im Verdacht Anzahl und Holzvorrat an Habitatbäumen in Beständen zu reduzieren (Cline et al. 1980, Albrecht 1991, Linder & Östlund 1998, Wilhere 2003, Vanderwel et al. 2006, Winter & Möller 2008, Gibbons et al. 2010). Gewöhnlicherweise sinkt in Wirtschaftswäldern mit der Zeit die Habitatqualität für Organismen, die stark dimensionierte Habitatbäume oder Totholz benötigen, denn diese Bäume werden im Zuge forstlicher Eingriffe häufig entnommen (Niedermann-Meier et al. 2010). Gibbons et al. (2010) zeigten, dass insbesondere Höhlenbäume in bewirtschafteten Wäldern mit langen Umtriebszeiten einem hohen Entnahmerisiko ausgesetzt sind. Lange Umtriebszeiten - und somit ein hohes Entnahmerisiko für Habitatbäume - sind in europäischen Eichenforsten Standard (Krahl-Urban 1959, Fleder 1981, Mosandl & Paulus 2002). Andererseits argumentieren Bütler et al. (2005), dass jungen Bäumen mit adäquaten Strukturen (diese werden von Bußler et al. (2008) beschrieben) ein hoher ökologischer Wert beigemessen werden kann und diese fehlende alte Bäume kompensieren könnten. Bußler et al. (2008) unterstreichen hierbei insbesondere, dass solche jungen „Habitat“-Bäume vom Dickungsstadium an zu erhalten sind.

In der hier vorliegenden Studie konnte kein statistisch signifikanter Einfluss der Behandlungsweisen der Vergangenheit auf die Bestandesgrundfläche und das Überschirmungsprozent von Habitatbäumen nachgewiesen werden. Ein genereller negativer Effekt von Durchforstungen auf Habitatstrukturen war ebenfalls nicht fest zu stellen. Lediglich die klassische Negativauslese, reduzierte das Überschirmungsprozent der Habitatbäume auffallend. Dieser Effekt war aber statistisch nicht signifikant von den anderen Behandlungsregimen unterscheidbar. Dennoch zeigt er tendenziell die fundamentale

Grundidee dieser Durchforstungsvariante (Schädelin 1942), die für Eiche von Krahl-Urban (1959) sowie Fleder (1981) und für Buche von Müller et al. (2007a) beschrieben wurde auf. In den auf die positiven Elemente des Bestandeskollektives ausgerichteten Pflegeflächen hingegen war die Überschirmung durch Habitatbäume indes etwa doppelt so hoch. Zusätzlich müssen auf diesen Flächen noch die nicht berücksichtigten, dominanten Buchen in ihrer Überschirmungsfunktion hinzugerechnet werden, die in den Negativauslesen systembedingt nicht vorkommen. Im intensivsten Durchforstungsregime, der starken positiven Förderung, konnten sogar bis zu 10% Bestandesüberschirmung durch Habitatbäume beobachtet werden (Bestand „Ochsenau“ auf Muschelkalk). Hierbei blieben noch 3 m<sup>2</sup> Bestandesgrundfläche mit korrespondierender Kronenschirmfläche von als Habitatbäume dienenden Buchen methodisch unberücksichtigt.

Demnach müssen ökologisch wertvolle Bestandeselemente nicht zwingend durch Pflegeeingriffe und Durchforstungen reduziert werden; beziehungsweise Flächenstilllegungen führen nicht per se zu ökologisch vorteilhafter Strukturausbildung und –mehrung.

### **Die Wirkung der Durchforstung aus dem Jahr 2012 auf Habitatbäume**

Die Durchforstungen im Jahr 1985 sowie im Jahr 1998 konnten keinen statistisch unterscheidbaren Zustand hinsichtlich der Ausstattung mit Habitatbäumen zu den undurchforsteten Referenzflächen herstellen. Im Jahr 2012 erfolgten zum dritten Mal Durchforstungen in den Beständen, bei denen keine Rücksicht auf naturschutzfachliche Aspekte und Belange genommen wurde.

Die allermeisten Veruchplots waren von den Durchforstungseingriffen im Jahr 2012 hinsichtlich ihrer Ausstattung mit Habitatbäumen nach Anzahl oder Dimension nicht oder kaum tangiert. Unterschiede zwischen bewirtschafteten und stillgelegten Flächen sind auch nach den Durchforstungen im Jahr 2012 kaum feststellbar. Als festgestellte betroffene biometrische Größe konnte alleinig die Bestandesgrundfläche der Habitatbäume identifiziert werden. In den Parzellen, die ein auf die positiven Bestandesmitglieder ausgerichtetes Pflegeregime zeigten (Durchforstungsregime „2“ und „3“), war die Bestandesgrundfläche der Habitatbäume ähnlich der in den Kontrollparzellen (Durchforstungsregime „0“). Das Durchforstungsregime „1“ (klassische Negativauslese) schien negative Auswirkungen auf die Bestandesgrundfläche der Habitatbäume aufzuweisen, doch dieser Effekt war statistisch nicht zu beweisen. Rein deskriptiv ist festzustellen, dass in zwei Parzellen alle Biotopbäume in der klassischen Negativauslese entnommen wurden. Ist dieser Effekt auch statistisch schwerlich zu untermauern oder zu verallgemeinern, zeugt er dennoch von der fundamentalen Grundidee dieser Form der Eichenbewirtschaftung bzw. –pflege. Diese Art der Durchforstung wirkt auf der gesamten Bestandesfläche und keine unbehandelten Zwischenfelder verbleiben. Im Gegensatz hierzu zeigten die positiv-ausgerichteten Pflegeeingriffen zwischen den gepflegten

Z-Stämmen unbehandelte Zwischenfelder (Spiecker 1991, Wilhelm et al. 1999, Lemaire 2010, Wilhelm & Rieger 2013). In diesen ist offensichtlich genügend Fläche für Habitatbäume verblieben, die nicht durchforstet wurde. Dementsprechend war auch das Überschirmungsprozent durch Habitatbäume kaum von den Durchforstungsmaßnahmen im Jahr 2012 berührt, wobei eingeräumt werden muss, dass keine klaren Beziehungen zwischen Überschirmungsprozent der Habitatbäume und Standort beziehungsweise Altersklasse identifiziert werden konnten. Dennoch erreichte ein einzelner Bestand auf Muschelkalk im Alter von 53 Jahren („Ochsenau“) über 10 % Überschirmung nur durch Eichen, die Habitatfunktion ausübten. Dieser hohe Wert wurde durch die Durchforstung im Jahr 2012 nicht reduziert und mit ihm ein Schwellenwert erreicht, der für öffentliche Wälder in Deutschland gefordert wird (BMU 2007). Für die Wälder der Schweiz werden 10 % Bedeckung der Bestandesfläche mit Habitatbäumen als zielführend beschrieben (Bütler et al. 2005). Ausgenommen des angeführten einzelnen Bestands, erreichten die anderen Bestände dieser Untersuchung den Schwellenwert von 10 % nicht. Sie zeigten aber ein hohes Potential dafür, dass die gesetzlich geforderten Habitatkomponenten (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2008)) erreicht werden können. Die jüngsten Bestände, insbesondere auf Buntsandstein, hatten bereits im Alter von 41 Jahren eine Überschirmungsrate durch Eichen in Habitatfunktion von bis zu 6%. Dieser Wert erscheint hoch, insbesondere da erwartet werden kann, dass sich durch zukünftiges Wachstum diese Überschirmungsrate noch vergrößern wird und 10 % überschreiten könnte. Dies setzt aber voraus, dass in zukünftigen Durchforstungen auf den Erhalt der Habitatbäume geachtet wird (Mosandl & Abt 2016).

Weitere, vertiefte Studien sollten zukünftig konsequent in den Beständen durchgeführt werden. Der Traubeneichenpflegeversuch erlaubt die langfristige Wirkung von Durchforstungsmaßnahmen auf Habitatbäume zu eruieren. Rückschlüsse für den Naturschutz und die Forstwirtschaft in der Behandlung von Eichenbeständen könnten daraus gezogen werden.

## **7 Zusammenfassende Diskussion – Beantwortung der Forschungshypothesen**

Im folgenden Kapitel werden die in Kapitel 1.2 formulierten Forschungsfragen und Hypothesen beantwortet sowie in einer zusammenfassenden Diskussion gemeinschaftlich beleuchtet. Hierfür werden die Ergebnisse der Einzelstudien zusammengeführt und fachübergreifend die Wirkung der waldbaulichen Behandlung auf die Einzelthemen und –aspekte der drei Fachstudien subsummiert und beleuchtet. Das Kapitel endet mit waldbaulichen Empfehlungen zur Behandlung junger Eichenbestände.

### **7.1 Widerlegung der Forschungshypothesen**

Die zu Beginn der vorliegenden Arbeit formulierten Forschungshypothesen sollen nachfolgend auf Basis der Ergebnisse der drei einzelnen Fachstudien beantwortet bzw. falsifiziert werden. Die sechs formulierten Hypothesen werden nachfolgend jeweils wiederholt und fallweise - falls durch die Forschungsergebnisse möglich - falsifiziert.

#### **1a H<sub>0</sub>: Frühe, auf die vorherrschenden Bestandesmitglieder ausgerichtete Durchforstungen erbringen keine Wuchsvorsprünge gegenüber klassisch in Dichtschluss gehaltenen Traubeneichen.**

Auf Basis der ermittelten Messergebnisse der jungen Traubeneichen kann diese Hypothese nicht widerlegt werden. Die gemessenen, realen BHDs der Z-Stämme des Traubeneichenpflegeversuchs in den jeweiligen Pflegeregimes waren nicht konsequent signifikant unterschiedlich. Lediglich in den jüngsten Beständen zeigte sich, dass Bäume der Kontrollvarianten, also ungeförderte Individuen, Wuchsvorsprünge aufwiesen.

Erklären lässt sich dieser Befund nur mit inkonsequent durchgeführten Pflegeeingriffen zugunsten wuchsunterlegener Traubeneichen. Aus den Ergebnissen des Eingriffsgeschehens des Jahres 1998 lässt sich ableiten, dass insbesondere in den positiven Förderungen (Varianten „2“ und „3“) vorwüchsige, stark dimensionierte Traubeneichen ausgehauen wurden und sich dadurch die Verteilung der BHD-Spreitung verschob. In den Kontrollflächen verblieben hingegen aufgrund unterlassener Eingriffe die stark dimensionierten Bäume. Statistisch war kein Unterschied hinsichtlich des Brusthöhendurchmessers zwischen den Behandlungskollektiven feststellbar – darum kann postuliert werden, dass die Bäume der positiven Auslesen nach Drift durch Durchforstung durch gesteigerten Zuwachs den Anschluss an die Vergleichskollektive gewannen.

Mit der Simulation von Zuwächsen in zwei Simulationsszenarien mittels virtueller Bäume konnte jedoch gezeigt werden, dass durchaus beachtliche Zugewinne im

Durchmesserwachstum von bis zu 60 mm in den positiven Förderungen generiert hätten werden können. Diese hypothetischen Zugewinne im Durchmesserwachstum waren signifikant den klassischen Negativauslesen und Kontrollvarianten überlegen. Grundlage für ein derartiges Wachstum in realer Umsetzung wäre die konsequente Auswahl und Förderung vitaler, vorherrschender Traubeneichen gewesen, die aber nicht konsequent erfolgte.

Die Hypothese lässt sich somit doch widerlegen, jedoch nur unter Zuhilfenahme von hypothetischen Überlegungen und Simulationen. Dieses Ergebnis weist eindeutig darauf hin, dass nur die vitalsten und vorherrschenden Traubeneichen in jungen Beständen als Z-Stämme bzw. Ausleseebäume gewählt werden sollten. Die Auswahl formschöner, aber subdominanter Individuen kann einem gezielten, auf Förderung und Wuchsbeschleunigung ausgelegten Pflegeregime derart entgegenlaufen, dass keine Effekte nachweisbar werden. Das sich heute auf den Versuchsflächen darbietende Bild ist somit verzerrt und spiegelt nicht die Möglichkeiten einer Wachstumsanregung des Brusthöhendurchmessers bei jungen Traubeneichen wider.

**Ib H<sub>0</sub>: Die Qualitätsentwicklung von bereits früh positiv geförderten Traubeneichen unterscheidet sich nicht von der klassisch in Dichtschluss gehaltener Traubeneichen.**

Die Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs zeigen eindeutig, dass den Traubeneichenpflegeversuch begleitende Befürchtungen hinsichtlich der Qualitätsentwicklung der jungen Traubeneichen nicht befürchtet werden müssen (Fleder 1993). Die Qualitätsentwicklung nach den analysierten Einzelparametern als auch in ihrer zusammengefassten Form als Qualitätsindex zeigte keine Überlegenheit der klassischen Negativauslesen hinsichtlich der Qualitätsentwicklung. Vielmehr zeigen die erhobenen biometrischen Kennwerte der Z-Stämme, dass in jedem aktiv gesteuertem Pflegeregime überdurchschnittlich gute, qualitativ hervorragende Eichen erzogen werden können. Unterbleibt diese Steuerung, fallen die Eichen jedoch mittelfristig aus – somit tritt die Qualitätsentwicklung dann zwangsläufig in den Hintergrund. Die wesentliche Voraussetzung hinsichtlich der überdurchschnittlich guten Qualitätsentwicklung ist im flächendeckenden, dienenden Bestand zu suchen. Der Literaturvergleich mit skandinavischen, von frühester Jugend an intensiv freigestellten Stieleichen belegt diese Feststellung (vgl. Zieren 1970, Schaper 1977, Jensen & Skovsgaard 2009, Attocchi 2015). Die nordischen Stieleichen lassen außer Schneideholz der Güte B (Deutscher Forstwirtschaftsrat & Deutscher Holzwirtschaftsrat 2014) kaum höhere Qualitätsentwicklungen erwarten, wohingegen im vorliegenden Versuch mit seinem waldbaulichen Vorgehen Furniererzeugung möglich ist.

**Ila H<sub>0</sub>: Das Wirtschaften mit Traubeneichenbeständen ist finanziell unrentabel.**

Diese Hypothese kann eindeutig widerlegt werden. Die finanziellen Analysen der vorliegenden Arbeit identifizieren die wesentlichen Triebfedern des wirtschaftlichen Erfolgs in der Eichenwirtschaft – die Kulturkosten und die Umtriebszeit. Kann an diesen beiden entscheidenden Größen eine Minimierung erfolgen – durch Naturverjüngung, Extensivierung der Jugendpflege und durchforstungsabhängige Wuchsbeschleunigung – so können auch im Bodenreinertrag positive Wirtschaftsergebnisse erzielt werden. Verzinsungssätze des eingesetzten Kapitals von über 2% müssen aber als unrealistisch für Eichenbetriebsklassen benannt werden. Es sind unter optimalen Bedingungen auch noch theoretisch Zinssätze von 3% befriedigbar, doch müssten hierfür so optimale Bedingungen vorliegen, dass diese nicht als realistisch eingeschätzt werden.

Das Rechnen in Eichenbeständen unter Einbeziehung von Opportunitätskosten des eingesetzten Kapitals ist unpopulär und führt häufig trotz immenser Abtriebswerte der Bestände zu negativen Bodenertragswerten. Verkürzt man aber die Verzinsungszeit (=Umtriebszeit) bei geringem Kapitaleinsatz (=Kultur- und Pflegekosten), können Eichenbestände durchaus finanziell erfolgreich bewirtschaftet werden.

**IIb H<sub>0</sub>: Im aussetzenden Betrieb bewirtschaftete Bestände ohne Pflegeeingriffe sind finanziell und waldbaulich genauso vorteilhaft wie bei Pflege.**

Die vorliegende Studie liefert Erkenntnisse, dass diese Hypothese eindeutig zu widerlegen ist. Die finanzielle Nachteiligkeit der Stilllegungsvarianten zeigte sich in allen untersuchten Wachstumsläufen und veränderten Sensitivitätsanalysen. Die Bodenertragswerte schlugen durchweg negativ zu Buche, abgesehen von den Szenarien, die keine Kulturkosten unterstellten. Dennoch waren auch in diesen Analysen die Stilllegungen die finanziell am wenigsten attraktiven Varianten. Die Akkumulation von Holz mit einem Verkauf zu Ende einer Produktionszeit unterliegt in einem finanziellen Vergleich allen Varianten, die Zwischenerlöse generierten. Somit ist aussetzender Betrieb finanziell nicht zu empfehlen, denn in den allermeisten Analyseszenarien führte er zu negativen Bodenertragswerten und somit Kapitalzehrung denn –mehrung.

Auch waldbaulich kann eine Stilllegung von jungen Eichenjungbeständen (vgl. Vanselow 1960, Fleder 1981 & 1983) nicht empfohlen werden. Auf basenreichen Standorten führt dies zum Ausfall der Eiche durch wuchsüberlegene Schattbaumarten, insbesondere Buche. Dies kann mitunter innerhalb von 50 bis 60 Jahren nach der Stilllegung erfolgen. Ein konsequenter Weise weitergedachter Totalausfall der Baumart ist zu befürchten. Weiterhin liefert die vorliegende Arbeit als auch vorherige Auswertungen dieses Versuchs (vgl. Mosandl et al. 1991, Küster 2000) Hinweise darauf, dass durch übermäßigen jugendlichen Dichtstand das Durchmesserwachstum junger Traubeneichen gebremst wird. Waldbaulich zu generierende



Verkürzung der Produktionszeit wird damit verschenkt, mit entsprechenden Folgen für die finanzielle Wertschöpfung in Eichenbeständen. Letztendlich minimiert dies die Daseinsberechtigung von Eichenbeständen bei der Frage der Baumartenwahl bei Neubegründungen.

**IIIa H<sub>0</sub>: Die Bewirtschaftung hat keinen Einfluss auf die Höhe des Vorrats an Totholz.**

Die Erhebungen und Analysen des Vorrats an stehendem Totholz in den jungen Traubeneichenbeständen zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den waldbaulichen Behandlungen. Methodisch bedingt kann für diesen Vergleich in der vorliegenden Arbeit nur das stehende Totholz und nicht das liegende herangezogen werden. Stilllegungsflächen sind in dieser Analysekonstellation nicht ökologisch wertvoller als behandelte Flächen zu beurteilen. Generell ist festzustellen, dass die Literaturangaben zur Gesamtotholzausstattung für europäische Eichenbestände die Volumina des stehenden Totholzes der jungen Traubeneichenbestände unterschreiten. Somit wird eine hohe ökologische Wertigkeit der untersuchten jungen Eichenbestände ersichtlich.

**IIIb H<sub>0</sub>: Die Bewirtschaftung hat keinen Einfluss auf den Anteil von Biotopbäumen.**

Diese Hypothese ist nicht zu widerlegen. Ein Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf das Vorkommen von Habitatbäumen war statistisch nicht nachweisbar. Zwar war qualitativ festzustellen, dass Negativauslesen den Anteil an Traubeneichen mit Habitatstrukturen reduzierten, doch war dies nicht signifikant nachweisbar. Andererseits zeigten die Kontrollflächen keine erhöhte Ausstattung mit Habitatbäumen und in einer intensiven positiven Förderungsvariante wurde der größte Anteil an Bäumen in Habitat-gewährender Funktion festgestellt. Ein generell negativer Einfluss von forstwirtschaftlichen Pflegemaßnahmen auf das Auftreten von Habitatbäumen kann auf Basis der hier getroffenen Befunde nicht unterstellt werden. Darum sind Flächenstilllegungen in jungen Eichenbeständen nicht effektvoller für den Naturschutz als wenn die Bestände forstwirtschaftlich behandelt werden.

## **7.2 Zusammenfassende Diskussion der waldbaulichen Durchforstungsregimes**

In den drei Teilstudien werden jeweils aus einer fachspezifischen Sicht die Wirkungen der waldbaulichen Behandlungen in den jungen Traubeneichenbeständen betrachtet. Im Folgenden sollen diese fachspezifischen Blickwinkel geweitet und zusammengeführt werden. Hierfür wird jedes Behandlungsregime in der Zusammenschau beleuchtet.

### **Kontrollvariante**

Diese Variante, auch als Stilllegungsszenario bezeichnbar, bildet im Versuchsgeschehen die gesellschaftliche Forderung nach der Gewährung von Prozessschutz im Wald ab und referenziert Ergebnisse aus bewirtschafteten Behandlungspartellen. Ein Ergebnis dieser Versuchsvariante konnte auch erklären, warum bei Versuchsanlage 1984 kein ungepflegtes Baumholz auf Muschelkalk gefunden werden konnte. Die jungen Traubeneichen waren in unbehandelten Beständen in diesem Bestandesalter bereits ausgefallen. Die Kontrollvariante des Traubeneichenpflegeversuchs spiegelt die hohe Dynamik und Konkurrenz der Licht- und Schattbaumarten in gemischten Beständen wider. An den Ergebnissen des Traubeneichenpflegeversuchs ist klar zu erkennen, dass Stilllegungsabsichten zumindest in jungen Eichenbeständen mit dienenden Schattbaumarten Absage erteilt werden muss, wenn als Stilllegungsziel der Erhalt oder der Schutz der Eiche vorgesehen ist. Der Ausfall der Eiche ist sowohl in ökologischer als auch finanzieller Hinsicht negativ zu bewerten. Neben dem Verlust des Eichenanteils werden auch finanziell schlechte Ergebnisse generiert. Die Stilllegungsvariante stellt ökonomisch die schlechteste Variante dar. Die Qualitätsentwicklung der erhalten gebliebenen Eichen ist durchaus akzeptabel, doch durch den zu erwartenden Ausfall ist ihre qualitative Entwicklung nachrangig. Aus diesen Gründen können Stilllegungen in jungen Traubeneichenbeständen nicht empfohlen werden, insbesondere nicht auf basenreichen Standorten.

### **Negativauslese**

Diese Form der waldbaulichen Behandlung ist seit langer Zeit tradiert und nachweislich im Praxisbetrieb der Forstwirtschaft erfolgreich in der Erziehung wertvoller Eichenalthölzer. Die qualitative Entwicklung der jungen Traubeneichen ist überdurchschnittlich gut und bis auf das Durchmesserwachstum mit derjenigen der positiven Eingriffsvarianten des Traubeneichenpflegeversuchs vergleichbar – bzw. wäre es, wenn der Versuch durchgängig intentionsgerecht durchgeführt worden wäre. Bei einer kritischen Beleuchtung der finanziellen Konsequenzen dieses waldbaulichen Vorgehens ist die Negativauslese in der Regel unvorteilhaft und stets den positiven Förderungen unterlegen. Defizitäres Wirtschaften ist häufig eine Folge dieses waldbaulichen Vorgehens, insbesondere dann, wenn hohe Kulturkosten anfallen. Die Wirkung dieser Variante auf die Habitatfunktion junger

Eichenbestände erwies sich qualitativ als negativ, was nicht weiter verwundert. Zielt doch die negative Auslese auf die Entnahme von schlechten Eichen (die aber oftmals eine besondere Habitatqualität innehaben) ab.

Die klassische Negativauslese ist ein probates und fundiertes waldbauliches Verfahren, um Eichenbestände von höchster Holzqualität zu erziehen. Doch erkaufte der Bewirtschafter die hohe Güte der Eichen durch negative Bodenertragswerte. „Schöne“ Eichenalthölzer aus klassischer Erziehung sind in der Regel kapitalintensiv begründet worden und letztendlich aufgrund von Zinseffekten defizitär. Darüber hinaus ergeben sich Hinweise darauf, dass dieses waldbauliche Vorgehen ökologischen Ansprüchen an einen umfassenden und ökologisch-nachhaltigen Waldbau nicht genügt (Knoke & Mosandl 2004), aufgrund des geringen Anteils an Habitatbäumen auf den Versuchsflächen. Moderne Waldbaukonzepte sollen allen drei Säulen der Nachhaltigkeit gerecht werden (UNCED 1992) – diese Forderung kann die klassische Negativauslese nicht erfüllen.

### **Mäßige Positive Förderung**

Die mäßige positive Förderung schneidet bei der Zusammenschau ihrer Wirkungsweise auf Wachstum, Qualitätsentwicklung, Wirtschaftlichkeit und naturschutzfachlicher Wirkung in jungen Traubeneichenbeständen unter den vier untersuchten Pflegeregimes am besten ab. Sie maximiert den Zuwachs an den jungen Traubeneichen, der nicht geringer ist als bei intensiver positiver Förderung (sowohl real als auch in Simulationen) und führt so mit weniger Aufwand zu vergleichbaren Resultaten wie maximal geförderte Eichen. Die Eingriffe in die Bestände sind in diesem Durchforstungsregime weniger stark ausgeprägt als in den starken Freistellungen, darum kosten diese Eingriffe auch weniger, was sich teilweise in besseren Annuitäten widerspiegelte als in der starken Durchforstungsvariante. Risiken der Wasserreiserbildung fallen somit auch geringer aus. Die Qualitätsentwicklung gestaltete sich in diesem Pflegeregime sehr gut und das Ziel Wertholzerzeugung ist realistisch ohne Einschränkungen erreichbar. Im Hinblick auf eine naturschutzfachliche Bewertung ist festzustellen, dass in diesem Behandlungsregime in keiner Versuchsparzelle Biotopbäume vollständig entfernt wurden und - bezogen auf den Gesamtversuch - keine auffällig geringen Anteile an Habitatbäumen festgestellt wurden. Darum ist tendenziell eine gute ökologische Verträglichkeit dieser Art der Bestandesbehandlung zu attestieren, die in umfassender Weise bei moderatem Aufwand hohen Ertrag erbringt.

### **Intensive positive Förderung**

Die intensive positive Förderung ist das Pflegeregime im Traubeneichenpflegeversuch, das die stärksten Eingriffe in den Beständen verwirklichte. Die Effekte maximaler Freistellung waren denen der mäßigen positiven Förderung aber nicht immer überlegen. Auf Muschelkalk sind die simulierten Umtriebszeiten der Eichen in diesem Pflegeregime zwar am geringsten, doch ist der Unterschied zu mäßigen positiven Förderung nicht substantiell, insbesondere wenn man die beiden anderen im Traubeneichenpflegeversuch realisierten Pflegeregime mit in den Vergleich einbezieht.

Die jungen Traubeneichen entwickelten sich in diesem Pflegeregime ebenso wie in den anderen Pflegevarianten des Versuchs erfreulich und gut, so dass bezogen auf die Qualitätsentwicklung keine Bedenken bei dieser Art der waldbaulichen Behandlung bestehen. Skandinavische Eichenpflegepraktiken belegen diesen Befund für Stieleichenbestände, die regulär so intensiv durchforstet werden wie hier in diesem Pflegeregime dargestellt (Schaper 1977, Holten 1986, Spiecker 1991, Attocchi 2013 & 2015). Bezogen auf den Aufwand lieferten die finanziellen Analysen aber keine konsequente Überlegenheit der jungen Eichenbestände in intensiver Durchforstung gegenüber denen der mäßigen Förderung. Da der Kapitaleinsatz für intensive Freistellungen größer und damit risikoreicher ist, kann auf Basis der hier getroffenen Befunde dieses Vorgehen nicht primär empfohlen werden. Dies gilt auch insoweit, als dass die ökologische Wirkung dieser Bestandesbehandlung negativ ausfallen kann, da sie außer den Z-Stämmen nur mehr wenige andere Bäume auf den Flächen erhält und Habitatbäume tendenziell Gefahr laufen in diesem Durchforstungsregime über Gebühr entnommen zu werden. Dieser Gefahr müsste durch Erklärung von Habitatbäumen zu Z-Stämmen direkt begegnet werden.

### **7.3 Waldbauliche Empfehlungen zur Behandlung junger Traubeneichenbestände**

Die Erfahrungen aus 27 Jahren Laufzeit des Traubeneichenpflegeversuchs lassen Rückschlüsse zur zielgerichteten und empfehlenswerten Eichenbewirtschaftung in jungen Beständen zu. Grundsätzlich gilt es festzuhalten, dass zwei wesentliche Prämissen der Eichenbewirtschaftung zu beachten sind, wenn es das Ziel ist, waldbaulich, wirtschaftlich und naturschutzfachlich erfolgreich zu pflegen: die **frühzeitige** und **konsequente Auswahl** von Ausleseebäumen.

Die Erfahrungen des Traubeneichenpflegeversuchs lassen das **Pflegeregime „2“ – mäßige positive Förderung** - hinsichtlich der Qualitätsentwicklung, des Wachstums, der finanziellen Entwicklung und der Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte als das Verfahren erscheinen, das für junge Traubeneichenbestände empfohlen werden kann. Die folgenden Ausführungen sollen dieses Verfahren kurz für den Praktiker zusammenfassen und als eine Handreichung zur Pflege junger Traubeneichenbestände verstanden werden, die niemals alle örtlichen und lokalen Besonderheiten abzudecken vermag. Vielmehr sollen Leitplanken definiert sein, die Orientierung in der Jungbestandspflege und in der Jungdurchforstung bieten:

Eichen – Stiel- sowie Traubeneiche – sind Lichtbaumarten, die ihren Kronenausbau im Alter nach ihrer arteigenen frühen Kulmination nicht mehr wesentlich nachholen können (vgl. u. a. Pretzsch & Utschig 1995, Ebert & Rieger 2000). Darum empfiehlt sich ein **Einstieg** in die Förderung des Kronenausbaus **in sehr jungen Jahren**, wenn die Bestände sehr dicht erwachsen sind. Wird klassisch gesät, so kann eine Dichte erreicht werden, die solch frühe Eingriffe nötig macht. In mit geringen Pflanzanzahlen begründeten Beständen ergibt sich die nötige „Kopffreiheit“ von selbst – im Zweifelsfall auf Kosten der natürlichen Astreinigung und der Wuchsform. Sowohl in Saat- als auch Pflanzbeständen sollte immer **durchstechender dienender Bestand geköpft** werden.

Die dieser Studie zu Grunde liegenden Versuchsbestände wurden bereits im Alter von 13 Jahren in Behandlung genommen und es wurde im Alter von 13 Jahren bereits auf etwa 7.000 positiv geformte Individuen pro Hektar abgestellt. Das bedeutet nun nicht, dass in diesem Alter die Stammzahl auf 7.000 Eichen reduziert werden soll. Es soll lediglich eine genügende Anzahl von vitalen Eichen geben, denen ein Standraum von 1,2 m \* 1,2 m (ca. 1,5 m<sup>2</sup>) zur Verfügung steht. Die maximale Anzahl von vitalen Eichen (=potentielle Ausleseebäume<sup>11</sup>) in diesem Alter beträgt somit 7.000 Stück pro Hektar.

---

<sup>11</sup> Potentielle Ausleseebäume bilden das Kollektiv, in dem die späteren Z-Stämme enthalten sind.

Etwas später, im Alter von 25 Jahren, benötigen vitale Eichen schon einen Standraum von ca. 10 m<sup>2</sup>, so dass auf einem Hektar maximal nur mehr etwa 1.000 vitale Eichen (=potentielle Ausleseebäume) geben kann.

Eingriffe in sehr jungen Eichenbeständen wird man immer davon abhängig machen, ob es in dem jeweiligen Alter genügend potentielle Ausleseebäume gibt, die einen entsprechenden Standraum zur Verfügung haben. So sollten im Alter von 15-25 Jahren mindestens 150 Eichen einen Standraum von 1,5 m<sup>2</sup> bzw. 10 m<sup>2</sup> haben. Ist dies nicht der Fall, dann sollte eine entsprechende Anzahl von Ausleseebäumen durch Aushieb von 1-2 Bedrängern dieser Standraum eingeräumt werden.

**Bis zum Alter von etwa 15 Jahren sollte einem Auslesebaum in etwa 1,5 m<sup>2</sup> Standraum geschaffen werden, sofern dieser nicht von Haus über diesen Standraum verfügt. Im Alter von 25 Jahren sollten einem Auslesebaum etwa 10 m<sup>2</sup> Standraum zur Verfügung stehen. Im Alter von 35 Jahren benötigt ein vitaler Auslesebaum bereits einen Standraum von 20 m<sup>2</sup>.**

Bei einer moderaten Förderung der Ausleseebäume durch Entnahme von 1-2 Bedrängern wird der Astreinigungsprozess nicht unterbrochen, allerdings verpufft die Wirkung auf den Durchmesserzuwachs sehr schnell, so dass verhältnismäßig rasch (nach 5-10 Jahren) ein weiterer Eingriff notwendig wird. **Eminent wichtig ist hierbei, dass vitale Bäume herausgepflegt werden, die im Zweifelsfall ideal-geformten, subdominanten Individuen in der Wuchsform unterlegen, im BHD-Wachstum aber deutlich überlegen sind.** Diese Phase der Eichenpflege ist nach den Erfahrungen des Traubeneichenpflegeversuchs sehr kritisch, da in dieser Pflegephase die Weichen hinsichtlich einer potentiellen Reduktion der Umtriebszeit gestellt werden. **Jedem dominanten und wuchsstarken Auslesebaum sollten im Alter von 35 Jahren etwa 20 m<sup>2</sup> Standraum zur Verfügung stehen, der ihm ggf. durch entsprechende vorhergehende Pflegeeingriffe eingeräumt werden muss.**

Die Erfahrungen des Traubeneichenversuchs zeigen, dass in den jüngsten in Angriff genommenen Eichenbeständen 10 bis 15 Jahre nach Versuchsbeginn (dem zweiten Pflegeeingriff), also **im Alter von etwa 35 bis 45 Jahren, Z-Stämme ausgewählt** werden können. Der Zeitraum richtet sich nach der Wuchsdynamik in Abhängigkeit der Bodengüte und der erreichten **astfreien Schaftlänge von etwa acht bis zehn Metern**. Die Aufnahmen des Traubeneichenpflegeversuchs reichen bis zu diesem Stadium und zeigen, dass mehr als genügend Auswahloptionen auf den Flächen vorhanden sind. In etwa **80 bis 100 Z-Stämme** sollten gewählt und weiter in ihrer **Kronenentwicklung begünstigt** werden. Ob kräftige Freistellungen oder moderate Begünstigungen langfristig die bessere Alternative in der

Eichenbewirtschaftung darstellen, wird der Versuch erst in den kommenden Jahren zeigen können.

Das hier beschriebene waldbauliche Vorgehen garantiert zum einen eine zufriedenstellende Qualitätsentwicklung gepaart mit angeregter BHD-Entwicklung – allerdings nur, wenn wirklich dominante Ausleseebäume zu solchen erklärt und gefördert werden. Zum anderen wird aber auch gleichzeitig im Sinne einer **umfassenden Nachhaltigkeit** (Knoke & Mosandl 2004) **Biotopbäumen** auf der Fläche adäquater Platz eingeräumt.

Explizit nicht empfohlen wird die klassische Negativauslese mit Dichtstand der Bestände bis in das Alter von 60 bis 80 Jahren, da diese weder in vertretbaren Zeiträumen noch unter Wahrung der Ansprüche des Natur- und Biotopschutzes die gewünschten Bestandsergebnisse liefert. Dieses waldbauliche Vorgehen ist in der einschlägigen Literatur beschrieben und bekannt, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

Darüber hinaus wird ein **Quereinstieg** in das beschriebene waldbauliche Pflegeprogramm in älteren Beständen **nicht angeraten**. Die ältesten Versuchsbestände waren nach den Analysen im Traubeneichenpflegeversuch in ihrer Reaktionsfähigkeit den jungen Beständen deutlich unterlegen. Eine zielgerichtete Pflege war noch möglich, allerdings war der Grenznutzen, verglichen mit den jungen Beständen, bereits spürbar eingeschränkt. Sind Eichenbestände klassisch erzogen und behandelt worden, so sollten diese, insbesondere wenn sie schon 80 Jahre und älter sind, in ihrem eigenen Pflegeregime bis zur Hiebsreife weitergeführt werden. Drastische Änderungen der Behandlung führen im Zweifelsfall nur zu Wasserreiserbefall, Holzentwertung, Verlust von Massenleistung und unnütz eingesetzten Betriebsmitteln und Kapital.

## 8 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Der Traubeneichenpflegeversuch ist weltweit einzigartig in seiner Kombination von Pflegvarianten, Standorten und Alter der Bestände. Nach über 27 Jahren Beobachtungszeit lassen sich strukturierte Erkenntnisse und Schlussfolgerungen zur Eichenbewirtschaftung ziehen. Tradierte Meinungen konnten durch diesen Versuch widerlegt, ursprünglich kritisierte und skeptisch beäugte waldbauliche Methoden, Ansätze und Konzepte der forstlichen Praxis wissenschaftlich untermauert werden.

Der Traubeneichenpflegeversuch diente bisher als Anschauungsobjekt für forstliche Praktiker und auch für die forstwissenschaftliche Ausbildung. Die direkte räumliche Anordnung unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen nebeneinander zeigt eindrucksvoll die Konsequenzen waldbaulichen Handelns in jungen Beständen. Die Effekte dieser Behandlungen werden mit zunehmendem Alter der Bestände immer offensichtlicher werden, so dass die Versuchsbestände als Anschauungsobjekt der Aus- und Fortbildung – ob praktisch oder wissenschaftlich - weiterhin intensive Aufmerksamkeit erhalten sollten.

Die vorliegende Studie zeigt aber über die forstpraktische Bedeutung hinaus auch, dass eine auf das Wachstum und Qualitätsentwicklung abgestellte klassische Versuchskonzeption auch neue, ursprünglich nicht vorgesehene Forschungsfragen beantworten kann. Der finanzmathematische Ansatz sowie die naturschutzfachliche Studie zeugen hiervon.

Dieser Aussage widerspricht auch die Tatsache nicht, dass durch inkonsequente Hiebsführung im Winter 1998/1999, die nicht der Versuchsentention folgte, der Versuchsverlauf spürbar beeinflusst wurde. Die hierdurch eingetretenen negativen Effekte auf den Traubeneichenpflegeversuch sind bei jeder zukünftigen Untersuchung bzw. Auswertung von Datenmaterial, das auf den Versuchsflächen gewonnen wird, zu berücksichtigen. Da aber diese ungeplanten Effekte in der vorliegenden Studie beschrieben wurden und durch die nunmehr erfolgte Z-Baumwahl und die nun auch deutlich divergierenden Pflegeregime neue Grundlagen gelegt wurden, ist eine zukünftige Auswertung der Versuchsdaten möglich und darüber hinaus dringend angeraten.

In keinem vergleichbaren anderen Versuch besteht eine ähnliche Möglichkeit, die Entwicklung junger Traubeneichen konsequent von frühester Jugend an in einer derart komplexen Matrix aus Behandlung, Standort und Alter zu verfolgen, zu beschreiben und für forstliches Handeln auf großer Fläche nutzbar zu machen. Beispielhaft sei hier die zukünftige Entwicklung der Habitatbäume auf der Fläche zu nennen. Die weitere waldbauliche Behandlung der Bestände und die jeweiligen Reaktionen der Traubeneichen sollten hinsichtlich dieses Aspekts dringend weiter untersucht werden.



Der Klimawandel als auch das Bekenntnis zur momentan stattfindenden Anreicherung der Wälder mit Laubbäumen, werden die Bedeutung der Eichen in mitteleuropäischen Wäldern mittelfristig deutlich steigern. Hierdurch werden fundierte und wissenschaftlich begründete Behandlungskonzepte – insbesondere für junge Bestände – immer wichtiger. Nach wie vor besteht hier Forschungsbedarf. Die Berücksichtigung und Verfolgung multipler Zielsetzungen im Sinne umfassend nachhaltiger Forstwirtschaft – z.B. Generierung wirtschaftlicher Erträge bei gleichzeitiger ökologischer Habitatgestaltung – ist hierbei eine große Herausforderung für die forstliche Praxis. Nur auf Basis von Versuchen wie dem Traubeneichenpflegeversuch können verantwortungsvoll Entscheidungen hergeleitet werden, wie Pflegekonzepte zukünftig aussehen sollten. Weiterhin spiegelt der Traubeneichenpflegeversuch wider, welche Konsequenzen forstliches Handeln bzw. das Unterlassen von ebendiesem in jungen Traubeneichenbeständen nach sich zieht und trägt somit direkt zur Diskussion und Konsequenzenabschätzung von Flächenstilllegungen in Mitteleuropa bei.

Im Vergleich zu anderen waldbaulichen Versuchen in Eichenbeständen, die in physiologisch späten Entwicklungsstadien begannen und bei denen die Genese der Versuchsbestände nicht immer lückenlos dokumentiert ist, bietet der Traubeneichenpflegeversuch eine breite und referenzierte Basis für weitere Forschungsarbeiten. Die vorliegende Studie beweist, dass klassische, nach wie vor nicht endgültig geklärte forstliche Fragestellungen bearbeitet werden können als auch neue Aspekte der Eichenwirtschaft Berücksichtigung finden können. Aus forstpraktischer und –wissenschaftlicher Sicht sollte der Traubeneichenpflegeversuch unbedingt fortgesetzt und das in ihm liegende Potential genutzt werden.

## 9 Zusammenfassung / Summary

Traubeneichen sind die vierthäufigste Baumart in Deutschland. Nach der Bundeswaldinventur 3 stocken Eichen auf 10,3% der bundesdeutschen Waldfläche. Der Klimawandel und die Orientierung an natürlichen bzw. naturnahen Vegetationsformen bei der Baumartenwahl werden den Anteil der Traubeneiche an der forstlich bestockten Fläche zukünftig noch steigen lassen. Die hohe Wertigkeit von Traubeneichen und Traubeneichenbeständen in ästhetischer, ökonomischer und naturschutzfachlicher Hinsicht verstärkt diesen Effekt.

Eichenbestände werden seit Jahrhunderten durch Menschenhand in Mitteleuropa begründet und in ihrer Entwicklung beeinflusst. Dennoch sind viele Fragestellungen zur Eichenbewirtschaftung unbeantwortet. Insbesondere das Verlassen tradierter Bewirtschaftungsweisen sowie die Integration multifunktionaler Ansprüche in die waldbaulichen Behandlungskonzepte stellen die Bewirtschafter von Traubeneichenbeständen vor große Herausforderungen.

### Fragestellung

Mit der vorliegenden Studie werden zentrale Fragen der Eichenbewirtschaftung bearbeitet. Zum ersten ist dies die Eruiierung der Wirkungsweise vier unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen auf das Wachstum und die Qualitätsentwicklung junger Traubeneichenbestände, die in unterschiedlichen physiologischen Altern in Behandlung genommen wurden. Zum zweiten werden ökonomische Kalkulationen angestellt, um zu klären, welche Art der Behandlung die wirtschaftlich sinnvollste in Eichenbeständen darstellt. Neben diesen fast schon klassischen Fragestellungen wird zum dritten in der vorliegenden Studie der Frage nachgegangen, welche naturschutzfachlichen Auswirkungen Pflege- und Durchforstungseingriffe in jungen Traubeneichenbeständen haben und hier insbesondere wie sich die Habitatqualität unter dem Einfluss waldbaulicher Behandlung entwickelt.

### Methoden

Die drei Themenkomplexe Waldbauliche Studie, Finanzielle Studie und Naturschutzfachliche Studie werden datenbasiert bearbeitet. Hierfür werden auf Basis von Vollaufnahmen 40 Versuchsplots auf zwei Standorten und in drei Altersklassen und in vier waldbaulichen Pflegeregimes in ihren waldbaulichen und waldwachstumskundlichen Parametern ausgewertet. Mit klassischen und moderneren varianzanalytischen Verfahren (ANOVA, lineare Regression und LMMs) werden metrische Daten analysiert. Für kategoriale Daten werden  $\chi^2$ -Tests sowie log-lineare Modelle geschätzt.

Für die ökonomische Studie werden klassische finanzmathematische Verfahren der Investitionsrechnung (Kapitalwert-, Bodenertragswert- und Annuitätenmethode) verwendet.

Die Identifikation wirkungsrelevanter Einflussvariablen auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit junger Traubeneichenbestände erfolgt über Sensitivitätsanalysen. Zur Identifikation finanz-optimaler Umtriebszeiten werden den durch Simulationen fortgeschriebenen jungen Traubeneichenbeständen keine fixen Umtriebszeiten zugeordnet, sondern diese nach maximierten Bodenertragswerten bzw. Annuitäten abgeleitet. Hiebsreife erlangten Traubeneichen in diesen Simulationen mit einem Brusthöhendurchmesser von 70 cm.

Teilweise inkonsequente Pflegeeingriffe im bisherigen Verlauf des Traubeneichenversuchs verursachten Probleme bei der Auswertung und Interpretation des Traubeneichenpflegeversuchs. Dies konnten aber durch Wuchssimulationen für die Z-Stämme überwunden werden. Hierzu wurden 200 Jahrringbohrungen vorgenommen und Zuwächse eruiert. Die Durchmesser entnommener Traubeneichen wurden mit arithmetischen und maximalen Zuwächsen virtuell fortgeschrieben, um theoretische Wuchspotentiale auszuloten. Dies erlaubt die Ableitung von Umtriebszeiten bei unterschiedlichen Wuchsszenarien und zeigt die Potentiale von jungen Traubeneichen hinsichtlich ihrer Umtriebszeit und damit ihrer Wirtschaftlichkeit auf.

## **Ergebnisse**

Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse basieren auf 13.020 vermessenen Bäumen in den 40 Versuchsplots des Traubeneichenpflegeversuchs. Hiervon sind 513 Traubeneichen-Z-Stämme, die in die Analysen Einzug hielten.

## **Waldbauliche Ergebnisse**

Der Traubeneichenpflegeversuch zeigt eindeutig auf, dass das klassische mitteleuropäische Eichenpflegekonzept der Negativauslese zu Beständen ausgesuchter Qualität führt. Analoge Qualitätsentwicklungen werden allerdings auch mit progressiven Auslesedurchforstungen, die von frühester Jugend an durchgeführt werden, erreicht. Diese Bäume sind allerdings signifikant stärker dimensioniert. Dies zeigt sich insbesondere bei den Wuchssimulationen. Potentiell sind bis zu sechs Zentimeter Unterschied im Brusthöhendurchmesser allein auf die Art der Behandlung im Bestandesalter 77 Jahre zwischen Eichen in Negativauslese und bei progressiver Durchforstung zurückzuführen. Diese beobachteten Effekte offerieren der Eichenwirtschaft biologisch sowie wirtschaftlich neue Optionen.

Eine fokussierte Betrachtung einzelner Qualitätsparameter als auch ihre Zusammenfassung als Index lässt den Schluss zu, dass intensiv positiv geförderte Individuen den klassisch gepflegten Traubeneichen in der qualitativen Entwicklung nicht nachstehen. Auch mittels positiver Förderung können Traubeneichenbestände von hervorragender Qualität erzogen werden. Voraussetzung hierfür ist aber ein flächendeckender, dienender Bestand.

Die Stilllegung der Kontrollparzellen führt eindrucksvoll vor Augen, dass innerhalb von knapp 30 Jahren Versuchslaufzeit der Anteil der Eiche im Herrschenden kontinuierlich sinkt. Die Intensität dieses Effekts ist edaphisch-bedingt unterschiedlich. Auf Muschelkalkstandorten, die der Buche bestes Wachstum offerieren, fällt der Eichenanteil durch Konkurrenz im Beobachtungszeitraum von einhundert auf vier Prozent ab. In absehbarer Zeit ist mit einem vollkommenden Verlust der Traubeneiche im herrschenden Bestandesgefüge zu rechnen. Die Geschwindigkeit des Ausfalls der Eiche hängt neben den edaphisch bedingten Faktoren auch maßgeblich vom Alter ab, in dem die Bestände stillgelegt werden. Je früher ein Eichenbestand stillgelegt wird, desto höher ist das Risiko, dass eine konkurrenzstärkere Baumart wie die Buche die Oberhand gewinnt und die Eiche verdrängt. Überlegungen zur weiträumigen Extensivierung oder Stilllegung von Eichenwaldflächen müssen diesen Effekt berücksichtigen, wenn das Ziel der Extensivierung bzw. der Stilllegung der Erhalt von Arten sein soll, die an Eichen gebunden sind.

### **Finanzielle Ergebnisse**

Die finanzielle Teilstudie zeigt auf, dass es zwei wesentliche Steuerungsgrößen der Eichenwirtschaft gibt. Diese sind zum einen die Kulturkosten, die zu Beginn eines Verzinsungszeitraums anfallen und darum zentral das wirtschaftliche Endergebnis beeinflussen und zum anderen die Verzinsungszeit selbst – die Umtriebszeit. Der Abtriebswert der Bestände ist in der finanziellen Betrachtung nicht die wichtigste Größe, die über die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit entscheidet.

Die Fortschreibung des Wachstums der Traubeneichen auf den Versuchsfeldern des Traubeneichenversuchs auf Basis von Simulationen zeigt, dass sich die derzeitigen klassischen Eichenumtriebszeiten von teilweise über 250 Jahren halbieren lassen. Auf besonders wuchskräftigen Standorten sind Umtriebszeiten von 100 Jahren durchaus realistisch.

Die finanziellen Analysen der Wertleistung der Traubeneichenbestände - losgelöst von einer vorgegebenen Umtriebszeit oder fixen Zieldurchmessern - zeigen, dass bei unbefriedigender Wachstumsgeschwindigkeit und hohen Kulturkosten Traubeneichenbestände über die gesamte Umtriebszeit defizitär sein können und aus wirtschaftlichen Erwägungen eine frühzeitige Endnutzung angebracht wäre. Eine Loslösung von fixen Zieldurchmessern und eine bestandesweise Ableitung von Nutzungszeitpunkten eröffnet die Chance, eine höhere Wertleistung zu generieren. Diese Erkenntnisse eröffnen wirtschaftliche Perspektiven für Eichenbestände. Die finanziellen Analysen lassen für Eichenbestände Verzinsungsraten von etwa 1,5% als realistisch erscheinen und machen deutlich, dass Durchforstungen Zwischeneinnahmen generieren, deren Wirkung nicht unterschätzt werden darf, wenn es um

die gesamthafte Beurteilung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit von Traubeneichenbeständen geht.

In diesem Zusammenhang hat sich das Pflegeregime der moderaten positiven Förderung als wirtschaftlich am erfolgreichsten herausgestellt. Überschaubare Aufwendungen für Pflegeeingriffe, verhältnismäßig günstige Durchforstungserlöse, eine verkürzte Umtriebszeit und ein hoher Abtriebswert aufgrund des großen Endvorrats an Wertholz lassen die moderate positive Förderung deutlich besser abschneiden als die klassische Eichenwirtschaft mit ihren langen Umtriebszeiten.

### **Naturschutzfachliche Ergebnisse**

Die Ergebnisse des Traubeneichenpflegeversuchs verdeutlichen eindrucksvoll, dass die untersuchten jungen Traubeneichenbestände reich an stehendem Totholz sind. Bis zu 28 Festmeter pro Hektar Vorrat an stehendem Eichentotholz stocken in den jungen Beständen, noch ergänzt durch Dürrständer der Baumart Buche. In den Kontrollparzellen ist überraschenderweise nicht mehr Totholz anzutreffen als in den bewirtschafteten Flächen. Der Vorrat des stehenden Totholzes rekrutiert sich hauptsächlich aus den Bäumen, die einen geringeren BHD als 10 cm aufweisen. Die Ausstattung der Versuchsparzellen des Traubeneichenpflegeversuchs mit Totholz übersteigt auffällig die aus der Literatur bekannten Werte, die auf vergleichbaren Flächen mit ähnlicher Aufnahmemethodik erhoben wurden. In die Bewertung der Habitatfunktion junger Bestände sollte der hohe Anteil an Totholz einbezogen werden, zumal viele Studien darauf hinweisen, dass schwach dimensioniertes Totholz eine wichtige Habitatfunktion und einen hohen ökologischen Wert hat.

In der vorliegenden Studie wurden nicht nur die toten Bäume berücksichtigt, sondern auch die lebenden Habitatbäume in die Untersuchungen einbezogen. Durch Kronenablotungen konnte nachgewiesen werden, dass bis zu 10% der Bestandesfläche durch Biotopbäume überschirmt werden. Ein statistisch abgesicherter Einfluss der Durchforstungen auf den Flächenanteil der Habitatbäume konnte jedoch nicht entdeckt werden. Es war aber zu erkennen, dass in den klassischen Negativauslesen Habitatbäume bevorzugt ausgehauen wurden und ihr Anteil an der überschirmten Bestandesfläche im Laufe des Bestandeslebens deutlich sank. In den am intensivsten durchforsteten Beständen konnte der Anteil an Habitatbäumen im Einzelfall am höchsten sein, es gab aber auch Fälle, in denen bei diesem Durchforstungsregime überhaupt keine Habitatbäume vorhanden waren. Grundsätzlich kann man feststellen, dass der Anteil von Bäumen mit Habitatfunktion in stillgelegten Flächen nicht automatisch gegenüber bewirtschafteten Flächenerhöht ist. Bewirtschaftung lässt also Bestände nicht immer ökologisch verarmen. Wichtig erscheint, dass bei der Bewirtschaftung Habitatbäume als solche erkannt und im Zuge von Pflegemaßnahmen gesichert werden müssen.

### **Schlussfolgerungen**

Die integrale Betrachtung der vier in den jungen Traubeneichenbeständen durchgeführten Durchforstungsvarianten lässt ein eindeutiges Muster erkennen: Pflegeregime, die in einem der drei Themenfelder Waldbau, Forstökonomie und Naturschutz nicht überzeugen können, vermögen dies auch insgesamt nicht. Insbesondere handelt es sich hierbei um die klassische Negativauslese sowie die Stilllegungsvarianten. Weder waldbaulich, noch wirtschaftlich und auch nicht naturschutzfachlich überzeugen diese Behandlungskonzepte. Sie ermöglichen eine ganzheitlich betrachtete, nachhaltige multifunktionale Zielerreichung nur eingeschränkt.

Besser geeignet und ausgesprochen multifunktional ausgerichtet sind positive Förderungen, die einerseits das wirtschaftliche Interesse des Menschen berücksichtigen und gleichzeitig ökologischen Anforderungen genügen. Auf Basis der in dieser Studie generierten Erkenntnisse wird empfohlen, junge Traubeneichenbestände nach dem Pflegeregime 2 - „mäßige positive Förderung“ - zu behandeln. Wird dieses Pflegeregime richtig und konsequent umgesetzt, kann mit qualitativ, finanziell und ökologisch überzeugenden Traubeneichenbeständen gerechnet werden.

## Summary

### Background

Oaks are widely cultivated in German forestry, making up 10.3% of the forest area. In near future, climate change, as well as the demand to carry out a form of “close-to-nature-forestry” are bound to increase the proportion of oaks, especially sessile oak (*Quercus petraea*) in German forests. Additionally, economic, aesthetic and ecologic properties and values of oak forests facilitate this process. For centuries, oak stands have been managed by man, yet a severe lack of knowledge concerning the management of (young) oak forests is detectable in European forestry. Especially breaking with traditional management habits as well as integration of multifunctional aspects and requirements in silviculture prove to be major challenges.

### Purpose

This study investigates how different manners of silvicultural management, done in different physiological ages of experimental stands, influence oak growth and development. Furthermore, economic analysis was carried out to show the best way of oak stand management. In addition, the impact of tending and thinning strategies on habitat suitability and quality for wildlife were analysed and present a third focus in this thesis.

### Methods

Results reached are based on data gained in 40 experimental plots located on two geological sites and in three physiological developmental stages going through four different thinning regimes. Using classical and new approaches of metric data analysis, ANOVA, linear regression and LMMs were carried out. For non-parametric data,  $\chi^2$ -test and log-linear modelling were applied.

For an economic analysis net-present-value and amount of annuity analysis were carried out. By using ceteris-paribus-analysis, important factors influencing the economic performance of oak stands were identified. Optimal rotation times for oak stands were assessed by combining simulation of growth and interest-analysis.

Growth simulation was necessary for the analysis as thinnings in the experimental plots had occasionally been carried out without strict adherence to the rules of the experiment. Therefore

200 dendrometric core samples were gathered to assess growth and removed trees were integrated by simulation to estimate potential growth maxima. Optimized rotation times and financial assessment could thus be studied.

## **Results**

Results shown in this study are based on 13.020 measured trees. Among these, 513 oaks were future crop trees intensively analysed.

### **Silvicultural results**

Negative selection systems that remove poor qualities in the stands consequently lead to stands of best timber quality. Though, positive selection systems that have been carried out right from the establishment of the stands achieve superior quality as well. In addition, trees out of positive selection systems show significantly higher dimensions than those going through a negative selection system. Following the results of the growth simulations, up to six centimetres more of dbh growth were achieved for 77-year-old stands in positive selection systems. The development of timber quality expressed by single indicators as well as their aggregation in an index showed that positive selection and promotion do not hinder superior quality development. Positive selection is of avail to groom well-formed oak stocks. However, meaningful understory is inevitably needed for this quality development in oaks.

Setting aside oak stands, represented by control plots showed severe silvicultural consequences: after 30 years, the numbers of oaks among the leading canopy layer severely decline, though this effect was different in between both geological sites investigated. Especially on shell limestone, where beech found best growing conditions and thus was very competitive against oak, the proportion of leading oak decreased from 100% to 4%. A complete oak decline is to be expected for these stands. Additionally, the stands' age on being set aside extensively influence the decline of oak proportion. The younger an oak stand is at the point of being set aside the more severe and faster the oak decline in the leading canopy layer increases. Setting aside programs for forests in distinct environmental protection strategies should respect these effects.

### **Financial results**

The results of the financial study show that there are two main factors influencing the economic performance of oak stands. Both the cost of establishing oak stands as well as rotation time are the main factors influencing the economic performance but less so considering timber value at the end of rotation time. Simulations show that a bisection of classical rotation times



of 250 years is possible for oak stands. Based on this, economic potential is detectable in forestry with sessile oaks.

The investigation of economic performance shows that the combination of low increment rates and high costs of establishment lead to permanently negative interest rates. Therefore, such oak stands should be cut very early and before reaching a certain level of dbh, e.g. 70 cm, as it is regularly suggested for oak timber.

Realistic interest rates for oak stands were identified being about 1.5%. Revenue from thinnings is shown to perform very intensely in the economic assessment of oak stands and waiving of thinnings are economically not desirable. In consequence, the moderate positive selection system shows to be the best thinning regime for young sessile oak stands. A combination of low costs for thinnings, high and repeated income from thinnings, short rotation time and high timber value at the end of the rotation time performed economically best in this study.

### **Ecological results**

A rich amount of snags were detected in the experimental sessile oak stands. Up to 28 cubic metres of oak snags per hectare were measured in the experimental plots. Set aside stands do not show more snag volume than managed stands do. The most snags were of small dimension measuring less than 10 cm of dbh. The volume of deadwood in the experimental plots notably exceeded the volume of dead wood cited in present literature. As a lot of new studies show high ecological value of small dimensioned snags, the young sessile oak's high potential to form habitat in forest landscapes should be respected.

In addition to the assessment of deadwood living habitat-providing oaks were analysed in the experimental stands. The measuring of crown shapes shows up to 10% of ground cover in the stands is indeed formed by habitat-providing oaks. Especially the impact of thinning actions on these habitat-providing trees was assessed. It was not possible to show statistically significant effects, nevertheless negative effects of negative selection systems on proportion of habitat-providing trees were observed. In positive selection systems the highest proportion of habitat-providing trees were discovered, but on the other hand this silvicultural system places these oaks under a high risk to be cut. Generally, in set-aside areas the proportion of habitat-providing oaks wasn't higher than in managed stands. Managed stands show high potential to serve ecological needs quite well, but it is imperative to identify those important oaks that provide habitat function to be protected before thinning actions.

**Conclusion**

The integral analysis of thinning regimes in young sessile oak stands prove that silvicultural management systems which fail in one single point of interest of sustainable and integral forestry also fail in overall assessment. Especially negative selection systems and setting-aside-strategies do not suffice as sustainable assessment as they fail in economic, ecologic and silvicultural aspects. Positive selection systems perform in a multifunctional way by combining economical claims of humans with integration of ecological requirements.

Based on the results of the study at hand, the moderate positive selection system described in this thesis is recommended to manage young sessile oak stands in a sustainable and overall successful way.

## 10 Literaturverzeichnis

Aas G (1991): Kreuzungsversuche mit Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* L. und *Q. Petraea* (Matt.) Liebl.). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 162(8):141-145.

Abetz P (1975): Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allgemeine Forstzeitschrift 30:666-667.

Abt A, Höllerl S, Mosandl R (2012): Bestandesentwicklung und Qualität von Z-Bäumen in Traubeneichenbeständen unterschiedlicher waldbaulicher Behandlung. Forstarchiv 83:185  
DOI 10.4432/0300-4112-83-185

Albrecht L (1991): Die Bedeutung des toten Holzes im Wald. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110(1):106-113. DOI: 10.1007/BF02741245

Albrecht L, Abt A (2014): Die Bedeutung der Eiche im bäuerlichen Mittelwald. LWF Wissen 75: 41-47.

Altherr E (1971): Wege zur Buchenstarkholzproduktion. Festschrift zur 15. Hauptversammlung des Baden-Württembergischen Forstvereins und 100-Jahr-Feier der Baden-Württembergischen Forstlichen Versuchsanstalt: 123-127.

Ammer U (1991): Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforschung für die forstliche Praxis. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110(1):149-157. DOI: 10.1007/BF02741249

Ammer C, Dingel C (1997): Untersuchungen über den Einfluss starker Weichlaubholz-Konkurrenz auf das Wachstum und die Qualität junger Stieleichen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 116(1): 346-358. DOI: 10.1007/BF02766910

Ammer C, Brang P, Knoke T, Wagner S (2004): Methoden zur waldbaulichen Untersuchung von Jungwüchsen. Forstarchiv 75: 83-110.

Ammer C, Ziegler C, Knoke T (2005): Zur Beurteilung von intra- und interspezifischer Konkurrenz von Laubbaumbeständen im Dickungsstadium. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 176(5): 85-94.

Ammer C (2016): Starkholz – wertvolles Instrument der waldbaulichen Steuerung. AFZ-DerWald 19: 3-36.

Andrzejczyk T (2009): Dąb szypułkowy i bezszypułkowy. Hodlawa. Drukarnia Naukowo-Techniczna SA, Warschau, 302 S.

Anta M, Gonzales J (2005): Development of a stand density management diagram for even-aged pedunculate oak stands and its use in designing thinning schedules. Forestry 78(3): 209-216. DOI: 10.1093/forestry/cpi033

Assmann E (1961): Waldertragskunde. BLV, München-Bonn-Wien, 490 S.

Attocchi G (2013): Effects of pruning and stand density on the production of new epicormic shoots in young stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). Annals of Forest Science 70(7): 663-673. DOI: 10.1007/s13595-013-0309-5

Attocchi G (2015): Silviculture of oak for high-quality wood production. Effects of thinning on crown size, volume growth and stem quality in even-aged stands of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Northern Europe. (Doctoral Thesis No 2015:39) Swedish University of Agricultural Sciences Alnarp.

Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R (2011): Multivariate Analysemethoden. Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 13. Auflage, 583 S.

Bärnthol R (2003): Nieder- und Mittelwald in Franken. Fränkisches Freilandmuseum, 152 S.

Bartelheimer P (1991): Ökonomische Aspekte der Eichenwirtschaft. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110(1): 185-195. DOI: 10.1007/BF02741253

Bary-Lenger A, Nebout J-P (1993): Le chêne pédonculé et sessile en France et en Belgique. Editions du Perron, Aleur-Liège, 604 S.

Bary-Lenger A, Nebout J-P (2004): Evaluation financière des arbres d'agrément et de production en ville, à la campagne, en forêt Editions du Perron, Aleur Liège, 448 S. + CD ROM.

Bäucker E, Bues C-T (2009): Holzqualität von Traubeneichen-Kiefern-Mischbeständen und Traubeneichen-Reinbeständen. *Forst und Holz* 64 (3): 25-30.

Bayerische Staatsforsten (2008): Waldbaugrundsätze der Bayerischen Staatsforsten. 8S. URL:[http://www.baysf.de/uploads/media/Waldbaugrundsaeetze\\_der\\_Bayerischen\\_Staatsforsten\\_02.pdf](http://www.baysf.de/uploads/media/Waldbaugrundsaeetze_der_Bayerischen_Staatsforsten_02.pdf) (04.11.2016)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2008): Strategie zum Erhalt der biologischen Vielfalt in Bayern (Bayerische Biodiversitätsstrategie), 18 S.

Becker G, Hapla F, Teutenberg A (1990): Untersuchung der Holzqualität von Traubeneichen aus unterschiedlich dicht begründeten Beständen – Rund- und Schnittholzqualität. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48: 339-343.

Beinhofer B (2007): Zum Einfluß von Risiko auf den optimalen Zieldurchmesser der Fichte. *Forstarchiv* 78 (4): 117-124. DOI: 10.4432/0300-4112-78-117

Beinhofer B, Knoke T (2007): Umtriebszeit und Risiko der Fichte. *AFZ* 110-113

Beinhofer B (2008): Zum optimalen Einschlagszeitpunkt von Fichtenbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 179(7): 121-132.

Beinhofer B (2009): Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft – Finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von Diversifikationseffekten. Dissertation an der Technischen Universität München.

Beinhofer B, Knoke T (2009): Zur Astung von Mittelwaldeichen. *AFZ-Der Wald* 6: 302-303.

Beinhofer B (2010): Comparing the financial performance of traditionally managed beech and oak stands with roomy established and pruned stands. *European Journal of Forest Research* 129(2): 175-187. DOI: 10.1007/s10342-009-0311-5

Bieling C (2004): Non-industrial private-forest owners: possibilities for increasing adoption of close-to-nature forest management. *European Journal of Forest Research* 123(4): 293-303. DOI: 10.1007/s10342-004-0042-6

Birner W (1933): Über Wasserreiserbildung, Eichenrassen und Eichenstarkholzzucht. Der Deutsche Forstwirt 15 (85): 541-544.

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. 178 S.

Bolz R (1999): Mittel- und Hudewälder als ein Leitbild für eine "natürliche" Waldform in Mitteleuropa. In: Gerken, B., Görner, M., (Hrsg.): Natur- und Kulturlandschaft, 3. Auflage: 198–207.

Börner M, Guerichke M, Bertram L, Nutto L, Stähr F, Weinreich A (2003): Erhebung qualitätsrelevanter Parameter am Einzelbaum – Aufnahmestandards für junge bis mittelalte Laubhölzer als Grundlage für wissenschaftliche Untersuchungen. Forstarchiv 74: 275-282.

Bouget C, Nusillard B, Pineau X, Ricou C (2012a): Effect of deadwood position on saproxylic beetles in temperate forests and conservation interest of oak snags. Insect Conservation and Diversity 5 (4): 264-278. DOI: 10.1111/j.1752-4598.2011.00160.x

Bouget C, Lassauce A, Jonsell M (2012b): Effects of fuelwood harvesting on biodiversity – a review focused on the situation in Europe. Canadian Journal of Forest Research: 42(8): 1421-1432. DOI: 10.1139/X2012-078

Brunet J, Isacson G (2009): Influence of snag characteristics on saproxylic beetle assemblages in a south Swedish beech forest. Journal of Insect Conservation 13: 515-528 DOI: 10.1007/s10841-008-9200-3

Brand W (1997): Mittelwaldwirtschaft im niedersächsischen Forstamt Liebenburg. Forst und Holz 52(6): 144-148.

Bréda N, Granier A, Aussenac G (1995): Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Tree Physiology 15(5): 295-306. DOI: 10.1093/treephys/15.5.295

Bretz Guby N, Dobbertin M (1996): Quantitative estimates of coarse wood debris and standing dead trees in selected Swiss forests. Global Ecology and Biogeography Letters 5(6): 327-341. DOI: 10.2307/2997588

Brin A, Bouget C, Brustel H, Jactel H (2011): Diameter of downed woody debris does matter for saproxylic beetle assemblages in temperate oak and pine forests. *Journal of Insect Conservation* 15(5): 635-669. DOI: 10.1007/s10841-010-9364-5

Burschel P, Huss J (2003): *Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. 3. Auflage, Eugen Ulmer, Stuttgart, 488 S.

Bußler H, Blaschke M, Walentowski H (2008): Das Rothenbacher Totholz- und Biotopbaum-Konzept. *AFZ-Der Wald* 4: 200-203.

Bussler H, Walentowski H (2010): Sind Urwaldreliktarten in bayerischen Reservaten an naturnahe Wälder gebunden? *Forstarchiv* 81(2): 82. DOI 10.2376/0300-4112-81-82

Butin H, Kowalski T (1983): Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen - II. Die Pilzflora der Stieleiche (*Quercus robur* L.). *European Journal of Plant Pathology* 13(7): 428-439. DOI: 10.1111/j.1439-0329.1983.tb00145.x

Butin H, Volger C (1982): Untersuchungen von Stammrissen („Frostrissen“) an Eiche. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 101(1): 295-303. DOI: 10.1007/BF02741187

Bütler R, Lachat, T, Schlaepfer, R (2005): *Grundlagen für eine Alt- und Totholzstrategie der Schweiz*. Laboratorium für Ökosystemmanagement, Lausanne, 100 S.

Carbonnier C (1975): Produktionen i kulturbestgnd av ek i sodra Sverige (Yield of oak plantation in southern Sweden). *Studia Forestalia Suecica* 125: 88 S.

Cedro A (2007): Tree-Ring Chronologies of Downy Oak (*Quercus Pubescens*), Pedunculate Oak (*Q. robur*) and Sessile Oak (*Q. petraea*) in the Bielinek Nature Reserve: Comparison of the Climatic Determinants of Tree-Ring Width. *Geochronometria* 26 (1): 39-45. DOI 10.2478/v10003-007-0005-2

Chroust L (2007): Quality selection in young oak stands. *Journal of Forest Science* 53(5): 210-221.

Cieslar A (1923): Untersuchungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Herkunft des Saatgutes der Stieleiche. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 4/6: 97-149.

Cline P, Berg A, Wight H (1980): Snag characteristics and dynamics in douglas-fir forests, western Oregon. *Journal of Wildlife Management* 44(4): 773-786. DOI: 10.2307/3808305

Clasen C, Knoke T (2009): Entmischung von Baumarten durch Wildverbiss und mögliche finanzielle Konsequenzen. *AFZ* 21: 1145-1147.

Coch T, Müller-Bauerfeind M (2002): Wiederaufnahme des Mittelwaldbetriebes im Opfinger Mooswald. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 34(6): 165-170.

Colin F, Robert N, Druelle J, Fontaine F (2008): Initial spacing has little influence on transient epicormic shoots in a 20-year-old sessile oak plantation. *Annals of Forest Science* 65(5): 508-517. DOI: 10.1051/forest:2008032

Colin F, Ducouso A, Fontaine F (2010): Epicormics in 13-year-old *Quercus petraea*: small effect of provenance and large influence of branches and growth unit limits. *Annals of Forest Science* 67(3): 312-322. DOI: 10.1051/forest/2009118

Colin F, Ningre F, Fortin M, Huet S (2012): Quantification of *Quercus petraea* Liebl. forking based on a 23-year-long longitudinal survey. *Forest Ecology and Management* 282(282): 133-141. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.06.040

Cotta H (1828): *Anweisung zum Waldbau*. 4. Auflage, Arnoldische Buchhandlung, 413 S.

Crockford K, Savill P (1991): Preliminary yield tables for oak coppice. *Forestry* 64(1): 29-49. DOI: 10.1093/forestry/64.1.29

Dale M, Sonderman D (1984): Effect of thinning on growth and potential quality of young white oak crop trees. *USDA Forest Service Research Papers NE-539*, 12 S.

Deans J, Harvey F (1995): Phenologies of sixteen European provenances of sessile oak growing in Scotland. *Forestry* 68(3): 265-274. DOI: 10.1093/forestry/68.3.265

Deutscher Forstwirtschaftsrat & Deutscher Holzwirtschaftsrat (2014): *Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR)*.



Dhôte J-F (1997): Effets des éclaircies sur le diamètre dominant dans les futaies régulières de hêtre ou de chêne sessile. *Revue Forestière Française* 49 (6): 557-578.

Dhôte J-F, Hervé J-C (2000): Changements de productivité dans quatre forêts de chênes sessiles depuis 1930: une approche au niveau du peuplement. *Annals of Forest Science* 57(7): 651-680. DOI: 10.1051/forest:2000148

Dhôte J-F, Hervé J-C (2001): Assessing Long-Term Changes in Stand Productivity: a Case Study of Sessile Oak High Forests. In Carnus J-M, Dewar R, Loustau D, Tomé M, Orazia C (Hrsg): *Models for the Sustainable Management of Temperate Plantation Forests*. *EFI Proceedings* (41): 106-117.

Diwold G (2008): *Waldbauliche Untersuchungen zur Qualitäts- und Preisstruktur von wertvollem Eichenholz*. Master Thesis Vienna, 132 S.

Dohrenbusch A (1982): *Waldbauliche Untersuchungen an Eichen-Niederwäldern im Siegerland*. Institut für Waldbau der gemäßigten Zonen der Universität Göttingen, 145 S.

Dong P H, Muth M, Roeder A (1997): Traubeneichen-Durchforstungsversuch in den Forstämtern Elmstein-Nord und Fischbach. *Forst und Holz* 52(2): 34-38.

Dong P H, Muth M, Roeder A (1998): Läuterungsversuch in Eichenjungbeständen bei Oberhöhen von ca. 8 Metern. *Forst und Holz* 53(5): 165-167.

Dong P, Block J, Eder W, Lüpke v. B, Muth M, Schuck J, Seifert T, Spiecker H (2007): Eiche im Pfälzerwald. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* 63, 150 S.

Duchiron M-S (2000): *Strukturierte Mischwälder*. 1. Auflage, Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin-Wien, 256 S.

Ducouso A, Guyon JP, Krémer A (1996): Latitudinal and altitudinal variation of bud burst in western populations of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt) Liebl). *Annals of Forest Science* 53(2-3): 775-782. DOI: 10.1051/forest:19960253

Dwyer J, Dey D, Kurtz W (1993): Profitability of precommercially thinning oak stump sprouts. Northern Journal of Applied Forestry 10(4): 179-183.

Ebert H-P, Rieger T (2000): Die Baumkrone als Maßstab für den Zuwachs von Eichen. AFZ - Der Wald 55(8): 403-406.

Ecker J (1992): Wirkungen unterschiedlicher Pflegemaßnahmen auf die Qualitätsentwicklung junger Eichensaatbestände. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Forstwissenschaftliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. 87 S.

Ehring A, Keller O (2016): Versuch zur Eichentrupp-Pflanzung in Baden-Württemberg. AFZ-Der Wald 14:29-32.

El Kateb H, Felbermeier B, Höllerl S, Mosandl R (2006): Growth and quality of young sessile oak stands (*Quercus petraea* Liebl.) under different tending concepts. Silvicultural Experiments 1, Karl Gayer Institut, 8 S.

Endres M (1911): Waldwertrechnung und Forststatik. Julius Springer Berlin, zitiert nach Bartelheimer P (1991).

Erteld W (1956): Zur Entwicklung der Eiche auf sandüberlagerten Lehmstandorten des norddeutschen Jungdiluviums. Forstwissenschaftliches Centralblatt 75(5): 160-181. DOI: 10.1007/BF02027716

Fabricius L (1932): Forstliche Versuche XII. Ursachen der Wasserreiserbildung an Eichen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 54(22): 753-766. DOI: 10.1007/BF01818667

Faustmann M (1849): Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 15(12): 441-455.

Faustmann M (1853): Die Taxation des zum Bergbau bestimmten Waldbodens. Neue Jahrbücher der Forstkunde, S.345-357

Feineis F (1971): Die Abhängigkeit der Eichenqualität vom Standort im Steigerwald. In: Werteichen-Standorte (Traubeneiche) Arbeitstagung der Baden-Württembergischen Landesforstverwaltung am 28./29.4.1971 in Sulzburg, S. 63-75. Baden-Württembergische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt. Freiburg, 98 S.

Felton D, Thompson D (2008): Seed source significantly influences growth, form and silvicultural management of oak. Reproductive Material No.16 Coford connects, Dublin, 8 S.

Feuillat F, Dupouey J-L, Sciama D, Keller R (1997): A new attempt at discrimination between *Quercus petraea* and *Quercus robur* based on wood anatomy. Canadian Journal of Forest Research 27(3): 343-351. DOI: 10.1139/x96-174

Field A (2009): Discovering statistics using SPSS. 3. Auflage, Sage, Los Angeles 822 S.

Fischer F (1945): Nachzucht und Erziehung der Eiche im bernischen Bucheggberg. Promotionsarbeit an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 470 S.

Fischer A (2003): Forstliche Vegetationskunde. 3. Auflage, Eugen-Ulmer Stuttgart, 421S.

Fleder W (1976): Waldbausysteme im Spessart. Allgemeine Forstzeitschrift 31(34): 737-740.

Fleder W (1981): Furniereichenwirtschaft heute. Holz-Zentralblatt 107(98): 1509-1511.

Fleder W (1983): Vom unterfränkischen Verjüngungsbetrieb. Allgemeine Forstzeitschrift 38(39): 1013-1014.

Fleder W (1988): Zur Eichenwirtschaft im Spessart. AFZ 43(26): 735-737.

Fleder W (1993): Zur Behandlung von jungen Traubeneichenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 112: 159-169. DOI: 10.1007/BF02742145

Fontaine F, Druelle J, Clément C, Burrus M, Audran J (1998): Ontogeny of proventitious epicormic buds in *Quercus petraea*. L. in the 5 years following initiation. Trees 13 (1): 54-62. DOI:10.1007/PL00009737

Fontaine F, Colin F, Jarret P, Druelle J (2001): Evolution of the epicormic potential on 17-year-old *Quercus petraea* trees: first results. *Annals of Forest Science* 58 (5): 583-592. DOI: 10.1051/forest:2001147

Fontaine F, Mothe F, Colin F, Duplat P (2004): Structural relationships between the epicormic formations on the trunk surface and defects induced in the wood of *Quercus petraea*. *Trees* 18 (3): 295-306. DOI: 10.1007/s00468-003-0306-7

Forstdirektion Unterfranken (2005): Leitsätze zur Werteichenwirtschaft. Grundlagen, Zielsetzungen und Verfahrensgrundsätze für die Staatswälder im Spessart. Auf Basis der Grundlagenbesprechung zur Eichennachzucht im Spessart vom 21.03.2001 in Lichtenau, Forstamt Rothenbuch und der Stellungnahme der Forstdirektion Unterfranken vom 03.12.2002 Nr. 2206/172002/R429 zur Rechnungsprüfung „Eichennachzucht in Unterfranken“, sowie zahlreicher Hinweise unterfränkischer Forstpraktiker.

Freist H (1985): Erfahrungen auf dem Wege vom Mittelwald zum Hochwald im Forstamt Bramwald. *AFZ* 49:1331-1338.

Fuchs J (1824): Vollständiges Lehrbuch, die Eiche natürlich-künstlich und schnell wachsend zu erziehen: mit Anführung der bis nun bekannten Benützungsarten, Kennzeichen der kranken Bäume, und Heilmittel. 316 S.

Gaertig T, v. Wilpert K, Seemann D (2005): Differentialdiagnostische Untersuchungen zu Eichenschäden in Baden-Württemberg. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, Heft 61.

Gamborg C, Bo Larsen J (2003): "Back to nature" – a sustainable future for forestry? *Forest Ecology and Management* 179 (1-3): 559-571. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00553-4

Gardiner A (1970): Pedunculate and Sessile Oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) A Review of the Hybrid Controversy. *Forestry* 43(2): 151-160. DOI: 10.1093/forestry/43.2.151

Gaul T, Stüber, V (1996): Der Eichen-Nelder-Verbandsversuch Gohrde. *Forst und Holz* 51: 70–75.

Geyer C (1870): Die Erziehung der Eiche zum kräftigen und gut ausgebildeten Hochstamm. Springer, Berlin 42 S.

Gibbons P, McElhinny C, Lindenmayer D (2010): What strategies are effective for perpetuating structures provided by old trees in harvested forests? A case study on trees with hollows in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 260(6): 975-982. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.06.016

Gockel H (1994): Soziale und qualitative Entwicklungen sowie Z-Baumhäufigkeiten in Eichenjungbeständen. Die Entwicklung eines neuen Pflanzschemas, Die Trupp-pflanzung. In: *Forstwiss. Fachbereich. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen*, 168 S.

Gockel H (1995): Die Trupp-Pflanzung, Ein neues Pflanzschema zur Begründung von Eichenbeständen. *Forst und Holz* 50: 570–575.

Göttlein A (1994a): Die Wuchsleistung von Furniereichen in Abhängigkeit vom Standort. *Allgemeine Forst- u. Jagd-Zeitung*, 165:81-87.

Göttlein A (1994b): Der Einfluß von Baumdimension, Standort und Holzqualität auf den Versteigerungserlös von Furniereichen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 113(1): 354-366. DOI: 10.1007/BF02936710

Green P, Peterken G (1997): Variation in the amount of dead wood in the woodlands of the Lower Wye Valley, UK in relation to the intensity of management. *Forest Ecology and Management* 98(3): 229-238. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00106-0

Greenpeace (2013): Naturerbe Spessart ist in Gefahr - Greenpeace-Dokumentation der Holzeinschläge im Winter 2012/13 in den BaySF-Forstbetrieben Rothenbuch und Heigenbrücken. 10 S.

Groß P, Konold W (2010): Mittelwald als Agroforstsystem zwischen geordneter Nachhaltigkeit und Gestaltungsvielfalt – Eine historische Studie. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 181(3/4): 64-71.

Grove SJ (2002): Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 1-23. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150507

Grünebaum M, Teutenberg-Raupach A, Paul C (1993): Ein Weitverband bei Traubeneiche – Auswirkungen auf Wachstum, Schnittholzqualität und Furniereignung. *Forst und Holz* 48 (1): 3-7.

Guericke M (1996): Versuche zur Begründung von Eichenbeständen durch Nesterpflanzung. *Forst und Holz* 51, 577–583.

Guericke M, Petersen R, Blanke S (2008): Wachstum und Qualität von Eichennestern in Nordwestdeutschland. *Forst und Holz* 63: 58–63.

Halme P, Toivanen T, Honkanen M, Kotiaho J, Mönkkönen M, Timonen J (2010): Flawed Meta-Analysis of Biodiversity Effects of Forest Management. *Conservation Biology* 24(4): 1154-1156. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01542.x

Hamm J (1896): *Der Ausschlagwald*. 1. Auflage, Parey, Berlin, 267 S.

Hamm J (1900): Leitsätze für den Mittelwaldbetrieb. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 22(8): 392-404. DOI: 10.1007/BF01841336

Hardtke A, Meißner M, Steiner W, Janßen A, Ammer C (2016): Behandlungskonzept für Saatgutbestände der Eichen. *AFZ-DerWald* 24:12-16.

Hartig G (1861): *Lehrbuch für Förster und für die, welche es werden wollen*. 2ter Band. 10. Auflage, Cotta'scher Verlag, Stuttgart 345 S.

Hasenauer H (1997): Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. *Forest Ecology and Management* 96(3): 197-206. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00057-1

Hauck J (2016): Die Forstwirtschaft und die Eichen – ein Überblick. *AFZ-DerWald* 20: 14-16.

Hausrath H (1982): *Geschichte des deutschen Waldbaus von seinen Anfängen bis 1850*. 1-Auflage Hochschulverlag, Freiburg im Breisgau, 416 S.

Heck R, Thomas S, Tabata L (2010): Multilevel and longitudinal modeling with IBM SPSS. Routledge, London 343 S.

Heckel H (1977): Rundholzfehler und ihre Auswirkung bei der Verarbeitung. AFZ 32: 1172-1777.

Heidingsfelder A, Knoke T. (2004): Douglasie versus Fichte: Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern. Schriften zur Forstökonomie Band 26, Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M, 111 S.

Hemery G, Savill P, Pryor S (2005): Applications of the crown diameter - stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. Forest Ecology and Management 215 (1-3): 285-294. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.05.016.

Hein S, Dhôte J (2006): Effect of species composition, stand density and site index on the basal area increment of oak trees (*Quercus sp.*) in mixed stands with beech (*Fagus sylvatica* L.) in northern France. Annals of Forest Science 63(5): 457-467. DOI: 10.1051/forest:2006026

Hein S (2009): Wertholzproduktion mit Buche, Eiche, Esche und Ahorn. AFZ-Der Wald 5: 240-242.

Heyer C (1893): Der Waldbau oder die Forstproduktenzucht. 4. Auflage, Teubner, Leipzig, 634 S.

Hilt M, Ammer U (1994): Totholzbesiedelnde Käfer im Wirtschaftswald – Fichte und Eiche im Vergleich. Forstwissenschaftliches Centralblatt 113(1): 245-255. DOI: 10.1007/BF02936701

Hochbichler E (1987): Standortbezogene Behandlungsprogramme für die Werteichenproduktion. (Dissertation) Universität für Bodenkultur Wien.

Hochbichler E, Krapfenbauer A (1988): Behandlungsprogramme für die Werteichenproduktion im Wienerwald und Weinviertel. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 105(1): 1-23.

Hochbichler E, Krapfenbauer A, Mayrhofer F (1990): Ein Pflegemodell für Eichenjungbestände – Grünastung, eine wirtschaftliche Problemlösung der Wertholzerziehung. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 107(1): 1-12.

Hochbichler E (1993): Methods of oak silviculture in Austria. *Annals of Forest Science* 50(6): 583-59. DOI: 10.1051/forest:19930607

Hochbichler E (2008): Fallstudien zur Struktur, Produktion und Bewirtschaftung von Mittelwäldern im Osten Österreichs (Weinviertel). *Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien*, 246 S.

Höllerl S (2009): Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität von Fichtenbeständen in der Bergmischwaldstufe der bayerischen Alpen. Eine Analyse aus waldbaulich-forstökonomischer Sicht. *Schriftenreihe des Zentrums Wald-Forst-Holz Weihenstephan* 207, 268 S.

Holten N (1986): Eichenwirtschaft – dargestellt an Beispielen aus dem dänischen Forstamt Bregentved. *Forstarchiv* 57(6): 221-227.

Hubert M, Courrad R (2002): *Élagage et taille de formation des arbres forestiers*. 3. Auflage, Forêt privée française, Institut pour le développement forestier, Paris 282 S.

Husch B, Beers T, Kershaw J (2003): *Forest Mensuration*, 4. Auflage, John Wiley & Sons INC., Hoboken, New Jersey, 443 S.

IBM SPSS Statistics (2011): SPSS v19.

Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (2013): Manteltarifvertrag TV-Forst Tarifvertrag vom 18. Dezember 2007 in der Fassung des Änderungsstarifvertrages Nr. 5 vom 16. Mai 2013 gültig ab 1. Januar 2013.

IPCC (2013): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Stocker T, Qin D, Plattner G, Tignor M, Allen S, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P (Hrsg): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 28S.



Jensen J (2000): Provenance variation in phenotypic traits in *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Danish provenance trials. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15(3): 297-308. DOI: 10.1080/028275800447922

Jensen F, Skovsgaard J (2009): Precommercial thinning of pedunculate oak: Recreational preferences of the population of Denmark for different thinning practices in young stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24(1): 28-36. DOI: 10.1080/02827580802592475

Jobling J, Pearce M (1977): Free growth of oak. Forestry commission record 113, Stationery Office Books, London, 18 S.

Johnson P, Shifley S, Rogers R (2009): The ecology and silviculture of oaks. 2. Auflage, CABI, Wallingford, Oxon 580 S.

Junod P, Schmidt K, Zingg A (2001): Waldbau mit Eiche. *Wald und Holz* 10(01): 26-27.

Jüttner O (1955): Ertragstabellen für Eichen. In: Schober, R., 1975. Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 2. Auflage, Sauerländer, Aarau, 154 S.

Kato F (1986): Statische und klassische dynamische Verfahren der forstlichen Investitionsrechnung. Schriften aus der forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 85, 99 S.

Kenk G (1984): Werteichenproduktion und ihre Verbesserung in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forstzeitschrift* 39: 428-429.

Kenk G (1993): New perspectives in German oak silviculture. *Annals of Forest Science* 50(6): 563-570. DOI: 10.1051/forest:19930605

Kerr G (1996): The effect of heavy or "free growth" thinning on oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *Forestry* 69(4): 303-317. DOI: 10.1093/forestry/69.4.303

Kerr G, Harmer R (2001): Production of epicormic shoots on oak (*Quercus robur*): effects of frequency and time of pruning, *Forestry* 74(5): 467-477. DOI: 10.1093/forestry/74.5.467

Kerr G (2002): The potential of sustainable management of semi-natural woodlands in southern England using uneven-aged silviculture. *Forestry* 75(3): 227-243. DOI: 10.1093/forestry/75.3.227

Kint V, Hein S, Campioli M, Muys B (2010): Modelling self-pruning and branch attributes for young *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. trees. *Forest Ecology and Management* 260(11): 2023–2034. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.09.008

Kirby K, Webster S, Antczak A (1991): Effects of forest management on stand structure and the quantity of fallen dead wood: some British and Polish examples. *Forest Ecology and Management* 43(1-2): 167-174. DOI: 10.1016/0378-1127(91)90083-8

Kirst G (1963): Über die Holzgüte der Eiche auf verschiedenen Standorten des Saarlandes. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 82(7): 233-254. DOI: 10.1007/BF01825999

Klädtker J (1990): Umsetzungsprozesse unter besonderer Berücksichtigung Z-Baumbezogener Auslesedurchforstung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 161(2): 29-36.

Kleinschmit J, Svolba J (1979): Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*) – III. Nachkommenschaftsprüfung von Eichenzuchtbäumen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 150(6): 111-120.

Kleinschmit J (1993): Intraspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. *Annals of Forest Science* 50: 166-185. DOI: 10.1051/forest:19930716

Knoke T, Schulz Wenderoth S (2001): Ein Ansatz zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.) *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 120:154-172.

Knoke T, Peter R (2002): Zum optimalen Zieldurchmesser bei fluktuierendem Holzpreis—eine Studie am Beispiel von Kiefern Überhältern (*Pinus sylvestris* L.). *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung* 173:21-28.

Knoke T, Mosandl R (2004): Integration ökonomischer, ökologischer und sozialer Ansprüche: Zur Sicherung einer umfassenden Nachhaltigkeit im Zuge der Forstbetriebsplanung. *Forst und Holz* 59: 535-539.

Knoke T, Stimm B, Ammer C, Moog M (2005): Mixed Forests reconsidered: A Forest Economics Contribution on an Ecological Concept. *Forest Ecology and Management* 213: 102-116.

Knoke T, Stang S, Remler N, Seifert T (2006): Ranking the importance of quality variables for the price of high quality beech timber (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science* 63:399-413. DOI: 10.1051/forest:2006020

Knoke T, Seifert T (2008): Integrating selected ecological effects of mixed European beech Norway spruce stands in bioeconomic modelling. *Ecological Modelling* 210(4): 487-498. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.08.011

Knoke T, Schneider T, Hahn A, Griess V, Rößiger J (2012): Forstbetriebsplanung als Entscheidungshilfe. Ulmer Stuttgart, 408 S.

Knoke T, Clasen C, Paul C, Friedrich S (2016): Ökonomische Kalkulationen sprechen oft für Naturverjüngung. *AFZ* 17:42-45.

Kölling C (2007): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. *AFZ-Der Wald* 23: 1242-1245.

Kölling C, Müller-Kroehling S (2011): Standortliche Möglichkeiten für den Anbau der Elsbeere in Bayern. *LWF Wissen* 67: 13-16.

König A (1996): Abgrenzung von Sturmschadenrisikoklassen und Entwicklung von risikoorientierten Endnutzungsstrategien für den bayerischen Staatswald. Abschlussbericht Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft H8, 54 S.

Korpel S (1974): Kolokvium „O otázkach výchovy lesných porastov“. *Lesn. Čas.* 20(3):185–204. zitiert nach Schütz J (2003): *Waldbau I. Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung*. Skript zur Vorlesung *Waldbau I*, Professur für *Waldbau* der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 212 S.

Korpel S (1995): *Die Urwälder der Westkarpaten*. Fischer Stuttgart, 310 S.

Köstler N (1952): *Ansprache und Pflege von Dickungen*. Parey, Berlin Hamburg 80 S.

Köstler N (1955): *Waldbau*. 2. Auflage, Parey, Berlin Hamburg, 418 S.

Kraft G. (1884): Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover. 154 S.

Krahl-Urban J (1952): Die maximale Wertholzleistungsfähigkeit in Eichenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 71(5): 141-151. DOI: 10.1007/BF01973403

Krahl-Urban J (1959): Die Eichen. 1. Auflage, Parey, Berlin Hamburg, 288S.

Kramer H, Dong P (1985): Kronenanalyse für Zuwachsuntersuchungen in immissionsgeschädigten Nadelholzbeständen. Der Forst- und Holzwirt 40(5): 115-118.

Kramer H, Akça A (2008): Leitfaden zur Waldmesslehre. 5. Auflage, J.D. Sauerländer's Verlag, Bad-Orb, 226 S.

Krapfenbauer A, Hochbichler E (1984): Erprobung eines Pflegemodells in Eichenjungbeständen. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 101(3): 172-180.

Krissl W, Müller F (1989): Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichenmittelwaldgebiet Österreichs. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 40 S.

Küster B (2000): Die Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen auf das Wachstum und die Qualitätsentwicklung junger Traubeneichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Forstliche Forschungsberichte München 179, 223 S.

Küster H (2008): Geschichte des Waldes. 2. Auflage, Beck, München 267 S.

Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg (2014): Richtlinie Landesweiter Waldentwicklungstypen. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, Stuttgart, 116 S.

Larrieu L, Cabanettes A (2012): Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech-fir forests. Canadian Journal of forest Research 42:1433-1445.

Lassauce A, Lieutier F, Bouget C (2012): Woodfuel harvesting and biodiversity conservation in temperate forests: Effects of logging residue characteristics on saproxylic beetle assemblages. *Biological Conservation* 147:204-212. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.01.001

Lassauce A, Larrieu L, Paillet Y, Lieutier F, Bouget C (2013): The effects of forest age on saproxylic beetle biodiversity: implications of shortened and extended rotation lengths in a French oak high forest. *Insect Conservation and Diversity* 6:396-410. DOI: 10.1111/j.1752-4598.2012.00214.x

Leder B (1996): Über die Entwicklung eines 16 jährigen Eichen-Heisterbestandes aus 5 x 5 m-Pflanzverband. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 115: 174-183. DOI: 10.1007/BF02738596

Leder B (2007): Wachstum und qualitative Entwicklung von Eichennestern. *AFZ- Der Wald* 1: 420–423.

Leder B, Hillebrand K (2001): Überlegungen zur Charakterisierung der Qualitätsentwicklung in Buchen-Jungwüchsen. *Forst und Holz* 58(2): 44-49.

Leibundgut H (1966): *Die Waldpflege*. Pal Haupt Bern, 192 S.

Leibundgut H (1976): Grundlagen zur Jungwaldpflege: Mitteilungen der eidgenössischen Anstalt für forstliches Versuchswesen 52: 313-317.

Lemaire J (2010): *Le chêne autrement: Produire du chêne de qualité en moins de 100 ans*. 1. Auflage, Forêt Privée Francoise, Institut pour le développement forestier, Paris, 176 S.

Linder P, Östlund L (1998): Structural changes in three mid-boreal Swedish forest landscapes, 1885-1996. *Biological Conservations* 85(1-2): 9-19. DOI:10.1016/S0006-3207(97)00168-7

Lockow K (2006): Trauben-Eichen-Durchforstungsversuch "Freienwalde (Marienpfuhl) 172". *AFZ* 19: 1040-1043.

Loginov D (2012): *Oak in mixtures and monocultures – results from the Snogeholm study area in southern Sweden*. (Master Thesis: 2012/185) Swedish University of Agricultural Sciences Alnarp.

- Lorenz J (2010): Spessartsteine. Spessartin, Spessartit und Buntsandstein – eine umfassende Geologie und Mineralogie des Spessarts. Geographische, geologische, petrographische, mineralogische und bergbaukundliche Einsichten in ein deutsches Mittelgebirge. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Museums Aschaffenburg 25 (Sonderband), Aschaffenburg, 910 S.
- Lüpke v. B (1991): Einfluss von Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen. Forst und Holz 7:166-171.
- Lüpke v. B (1998): Silvicultural methods of oak regeneration with special respect to shade tolerant mixed species. Forest Ecology and Management 106(1): 19-26. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00235-1
- Malinauskas A (2007): Influence of initial density of oak (*Quercus robur* L.) plantations to stem quality. Baltic Forestry 13 (1): 83-88.
- Mayer R (1958): Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 129: 105-114 & 151-163.
- Mayer-Wegelin H (1952): Furniereichen-Standorte. Holz-Zentralblatt 129: 1771-1773.
- Metzger M (1999): Qualitätseigenschaften des Holzes von Traubeneichen (*Quercus petraea* Liebl.) aus drei süddeutschen Beständen in Abhängigkeit von der Jahrringbreite. Verlag Dr. Kovac, Hamburg 199 S.
- Michiels H (2014): Die Standorte der Traubeneiche. LWF Wissen 75: 25-29.
- Möhring B, v. Bodelschwingh H (2016): Betriebswirtschaftliche Aspekte der Starkholzproduktion. AFZ-DerWald 19: 29-32.
- Morisset J, Mothe F, Bock J, Bréda N, Colin F (2012): Epicormic ontogeny in *Quercus petraea* constrains the highly plausible control of epicormic sprouting by water and carbohydrates. Annals of botany 109: 365-377. DOI: 10.1093/aob/mcr292
- Mosandl R, Burschel P, Sliwa J (1988): Die Qualität von Auslesebäumen in Eichenjungbeständen. Forst und Holz 43: 37-41.

Mosandl R, El Kateb H, Ecker J (1991): Untersuchungen zur Behandlung von jungen Eichenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110(1): 358-370. DOI: 10.1007/BF02741269

Mosandl R, Kleinert A (1998): Development of oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) emerged from bird-dispersed seeds under old-growth pine (*Pinus silvestris* L.) stands. Forest Ecology and Management 106(1): 35–44. DOI: 10.1016/S0378-1127(97)00237-5

Mosandl R, Paulus F (2002): Rationelle Pflege junger Eichenbestände. AFZ – Der Wald 11: 581-584.

Mosandl R, Knoke T (2002): Produktion von Fichtenqualitätsholz durch Astung. AFZ, 120-123.

Mosandl R, Summa J, Stimm B (2010): Coppice-With-Standards: Management options for an ancient forest system. Forestry Ideas 39 (16/1): 65-74.

Mosandl R, Abt A (2016): Waldbauverfahren in Eichenwäldern gestern und heute. AFZ-DerWald 20:28-32

Muchin A (2005): Analytische Untersuchungen zum Einfluss des Standorts auf das Wachstum von Stiel- und Traubeneiche im nordostdeutschen Tiefland. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt 24, 264 S.

Müller J, Engel H, Blaschke M (2007a): Assemblages of wood-inhabiting fungi related to silvicultural management intensity in beech forests in southern Germany. European Journal of Forest Research 126(4): 513-527. DOI: 10.1007/s10342-007-0173-7

Müller J, Hothorn T, Pretzsch H (2007b): Long-term effects of logging intensity on structures, birds, saproxylic beetles and wood-inhabiting fungi in stands of European beech *Fagus sylvatica* L. Forest Ecology and Management 242(2-3): 297-305. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.01.046

Müller J, Bußler H, Kneib T (2008): Saproxylic beetle assemblages related to silvicultural management intensity and stand structures in a beech forest in Southern Germany. Journal of Insect Conservation 12: 107-124. DOI: 10.1007/s10841-006-9065-2

Müller J, Bütler R (2010): A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129: 981-992. DOI: 10.1007/s10342-010-0400-5

Müller-Kroehling S (2007): Laufkäfer unterschiedlich bewirtschafteter fränkischer Eichenwälder, unter besonderer Berücksichtigung der Bedeutung von Mittelwäldern für die Biodiversität. *Angewandte Carabidologie* 8: 51-68.

Murat E (2005): *Szczegółowa hodowla lasu*. Drukarnia Naukowo-Techniczna SA, Warschau, 204 S.

Murat R (2005): *Poradnik hodowcy lasu*. Drukarnia Naukowo-Techniczna SA, Warschau, 580 S.

Nagel R (2007): Bestandesentwicklung, Einzelbaumwachstum und Qualitätsentwicklung von Stiel- und Traubeneichenbeständen in Nordwestdeutschland unter dem Einfluss unterschiedlicher Durchforstungsstärken. In: Nagel J (Hrsg.) 2007: *Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten, Sektion Ertragskunde. Beiträge zur Jahrestagung, Alsfeld*: 114-132.

Neophytou C, Aravanopoulos F, Fink S, Dounavia A (2010): Detecting interspecific and geographic differentiation patterns in two interfertile oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Q. robur* L.) using small sets of microsatellite markers. *Forest Ecology and Management* 259: 2026–2035. DOI:10.1016/j.foreco.2010.02.013

Niedermann-Meier S, Mordini M, Bütler R, Rotach P (2010): Habitatbäume im Wirtschaftswald: ökologisches Potenzial und finanzielle Folgen für den Betrieb. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161(10): 391-400. DOI: 10.3188/szf.2010.0391

Noack M (2014): Standortökologisch-biomathematische Grundlagen für die Umwandlung von Kiefernreinbeständen in Kiefern-Trauben-Eichen-Mischbestände. Ein Beitrag zur zukunftsorientierten Ressourcennutzung im Nordostdeutschen Tiefland. Verlag Dr. Kovac, Hamburg 2014, 274 S.



Nordén B, Götmark F, Tönnerberg M, Ryberg M (2004): Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. *Forest Ecology and Management* 194(1-3): 235-248. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.02.043

Nörr R, Mößmer R (2004): Eiche unter Birke: Flächig, punktuell oder gar nicht pflegen? *LWF aktuell* 46: 24-26.

Nüßlein S, Lamatsch K (1998): Truppweise Jungbestandspflege in Wiederaufforstungen nach Vivian/Wiebke. *LWF aktuell* 15: 3-7.

Nutto L (1999): Neue Perspektiven für die Begründung und Pflege von jungen Eichenbeständen. *Freiburger Forstliche Forschung Band 5*, 190 S.

Ötting J (2011): Mündliche Mitteilung.

Otto D, Wagner S, Brang P (2009): Konkurrenz zwischen Stieleiche und Buche auf Lotharsturmflächen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 160 (5): 114–123.

Paar M (2013): Mündliche Mitteilung.

Paillet Y, Bergès L, Hjältén J, Ódor P, Avon C, Bernhardt-Römermann M, Bijlsma RJ, de Bruyn L, Fuhr M, Grandin U, Kanka R, Lundin L, Luque S, Magura T, Matesanz S, Mészáros I, Sebastià MT, Schmidt W, Standovár T, Tóthmérész B, Uotila A, Valladares F, Vellak K, Virtanen R (2009): Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology* 24(1): 101-112. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x

Paul C (2014): Timber-based agrisilvicultural systems to facilitate reforestation in Panama – A silvicultural and economic evaluation. (Dissertation), Technische Universität München.

Peters S, Becker G (1995): Die Holzqualität weitständig und engständig erwachsener Stieleichen *AFZ – Der Wald* 13: 716-717.

Petersen R (2007): Eichen-Trupp-Pflanzung – erste Ergebnisse einer Versuchsfläche im NFA Neuhaus. *Forst und Holz* 62: 19–25.

Petersen R, Schüller S, Ammer C (2009): Einfluss unterschiedlich starker Birkenkonkurrenz auf das Jugendwachstum von Traubeneichen – Ergebnisse einer 8-jährigen Beobachtungsreihe. Forstarchiv 80: 208-214. DOI: 10.237603004112-80-208

Piepho H, Büchse A, Emrich K (2003): A Hitchhiker's guide to mixed models for randomized experiments. Journal of Agronomy and Crop Science 189(5): 310-322. DOI: 10.1046/j.1439-037X.2003.00049.x

Polge H (1984): Werteichenproduktion in Frankreich. AFZ – Der Wald 39: 430-434.

Pretzsch H (1993): Struktur und Leistung naturgemäß bewirtschafteter Eichen-Buchen-Mischbestände in Unterfranken. AFZ – Der Wald 6: 281-284.

Pretzsch H (1996): Konzept für die Erfassung der Wuchsdynamik bayerischer Mischbestände aus Fichte/ Buche, Kiefer/Buche, Eiche/Buche und Fichte/ Tanne/Buche über ein Netz von Wuchsreihen, Anweisung zu Anlage und Aufnahme der Parzellen von Wuchsreihen, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der TU München, unpubliziert. 17 S.

Pretzsch H (2002): Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Parey-Blackwell, Berlin Wien, 414 S.

Pretzsch H, Utschig H (1995): Die Eichen-Versuchsflächen im Forstamt Elmstein-Nord. AFZ Sonderdruck 2.

Pretzsch H, Bielak K, Block J, Bruchwald A, Dieler J, Ehrhart H, Kohnle U, Nagel J, Spellmann H, Zasada M, Zingg A (2012): Produktivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. European Journal of Forest Research 132(2): 263-280. DOI: 10.1107/s10342-012-0673-y

Pretzsch H, Biber P, Schütze G, Bielak K (2013): Changes of forest dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. Forest Ecology and Management 316: 65-77. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.07.050

Pretzsch H, Biber P, Schütze G, Uhl E, Rötzer T (2014): Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nature Communications 5-4967. DOI:10.1038/ncomms5967

Preuhler T (1979): Ertragskundliche Merkmale oberbayerischer Bergmischwald-Verjüngungsbestände auf kalkalpinen Standorten im Forstamt Kreuth. Forschungsberichte der Forstlichen Forschungsanstalt München, 45 S.

Preuhler T, Kiefl J, Meyer F (1993): Der Eichen-Durchforstungsversuch ROH 90 im FA Rohrbrunn. AFZ – Der Wald 6: 276-280.

Preuhler T, Stögbauer K (1990): Strukturmerkmale des Furniereichenbestandes „Eichhall“ im Bayerischen Forstamt Rohrbrunn. Forst und Holz Sonderdruck, 45(11): 283-289.

Pyttel P (2012): Aspekte einer nachhaltigen Bewirtschaftung durchgewachsener Niederwälder. Schriftenreihe Freiburger Forstlicher Forschung 52, 166 S.

Rebel (1922): Waldbauliches aus Bayern. Huber's Verlag, Diessen vor München. 293 S.

Rebmann F (1920): Der Anbau von Walnußbäumen und amerikanischen Nußbaumarten im Walde. Neumann-Neudamm, 68 S.

Reif A, Brucker U, Kratzer R, Schmiedinger A, Bauhus J (2010): Forest management in times of climate change – synergies and potential conflicts between forestry and nature conservation. Naturschutz und Landschaftsplanung 42(9): 261–266.

Reineke L (1933): Perfecting a stand-density index for evenaged forests. Journal of Agricultural Research 46(7): 627– 638.

Rellstab C, Pluess A, Gugerli F (2016): Lokale Anpassung bei Waldbaumarten: genetische Prozesse und Bedeutung im Klimawandel. Schweizerische Zeitung für das Forstwesen 167:333-340.

Rinntech (2007): TSAP-Win Benutzerhandbuch, Heidelberg, 70 S.

Rohmeder E (1935): Zusammenhänge zwischen Baumklasseneinteilung und Wasserreiserbefall jüngerer Eichenbestände. Forstwissenschaftliches Centralblatt 57(7): 205-210. DOI: 10.1007/BF01817009

Röhle H (1982): Struktur und Wachstum von Stieleichen-Mischbeständen auf grundwasserbeeinflussten Standorten in den Auewaldgebieten Südbayerns. Forstliche Forschungsberichte München 51. 178 S.

Röhrig E, Schaper C (1983): Über des Ausmaß und die Bedeutung soziologischer Umsetzungen in Eichenjungbeständen. Forstarchiv 54(1): 3-7.

Röhle H (1986): Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien mit dem Dachlot und durch senkrechtes Anvisieren des Kronenrandes (Hochblick-Messung). Forstarchiv 57(2): 67-71.

Röhrig E, Bartsch N, Lüpke von B (2006): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer, Stuttgart, 479 S.

Roloff A, Grundmann B (2008): Bewertung von Waldbaumarten anhand der KlimaArtenMatrix. Allgemeine Forstzeitschrift 63: 1086–1088.

Ruhm W (1997): Alternative – Kulturbegründung von Eichenmischwald. Österreichische Forstzeitung 108: 29.

Sachsse H, Grünebaum M (1990): Untersuchung der Holzqualität von Traubeneichen aus unterschiedlich dicht begründeten Beständen. Holz als Roh- und Werkstoff 48: 255-260.

Sagl W (1995): Bewertung in Forstbetrieben. Pareys Studentexte 80, Blackwell Berlin-Wien, 306 S.

Saha S, Kuehne C, Kohnle U, Brang P, Ehring A, Geisel J, Leder B, Muth M, Petersen R, Peter J, Ruhm W, Bauhus J (2012): Growth and quality of young oaks (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) grown in cluster plantings in central Europe: A weighted meta-analysis. Forest Ecology and Management 283:106-118. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.07.021

Savill P, Kanowski P (1993): Tree improvement programs for European oaks: goals and strategies. Annals of Forest Science 50 (Supplement): 368-383. DOI: 10.1051/forest:19930741

Savill P, Spilsbury M (1991): Growing Oaks at Closer Spacing. Forestry 64(4): 373-384. DOI: 10.1093/forestry/64.4.373

Schädelin W (1942): Die Auslesedurchforstung als Erziehungsbetrieb höchster Wertleistung. Verlag Haupt, Bern, 147 S.

Schaper C (1977): Eichenwirtschaft in Dänemark. *Der Forst- und Holzwirt* 32: 355-358.

Schaper C (1978): Das Jugendwachstum von jungen Stiel- und Traubeneichen auf norddeutschen Standorten. (Dissertation) Universität Göttingen.

Schiegg K (2001): Saproxyllic insect diversity of beech: limbs are richer than trunks. *Forest Ecology and Management* 149(1-3): 295-304. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00563-6

Schlenker G (1971): Versuch einer Zusammenfassung. In: Werteichen-Standorte (Traubeneiche) Arbeitstagung der Baden-Württembergischen Landesforstverwaltung am 28./29.4.1971 in Sulzburg, S. 94-97. Baden-Württembergische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt. Freiburg, 98 S.

Schmaltz J, Fröhlich A, Gebhardt M (1997): Die Qualitätsentwicklung in jungen Traubeneichenbeständen im Hessischen Spessart. *Forstarchiv* 68: 3–10.

Schmidt M (2003): Eine betriebswirtschaftliche Analyse verschiedener waldbaulicher Behandlungskonzepte für die Baumart Eiche. (Diplomarbeit) Technische Universität München.

Schneble D (1971): Die Werteichenstandorte im Saarland. In: Werteichen-Standorte (Traubeneiche) Arbeitstagung der Baden-Württembergischen Landesforstverwaltung am 28./29.4.1971 in Sulzburg, S. 83-93. Baden-Württembergische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt. Freiburg, 98 S.

Schober R (1993): Ertragstabellen für die Baumart Buche (1971). In: Ministerium für Ländlichen Raum Baden-Württemberg. (Hrsg.): Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. Zusammengestellt für den Gebrauch in der Landesforstverwaltung. Selbstverlag, Stuttgart.

Schreiner (1933): Klebastbildung an Eichen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 55(12): 406-414. DOI: 10.1007/BF01816339

Schroeter H (2000): Konzeption einer Wertansprache für Eichenholz am stehenden Stamm. Dissertation Göttingen, 152 S.

Schulz H (1955): Untersuchungen über die Bewertung von Eichenstammholz. Forstarchiv 26: 182-184.

Schulz H (1959): Untersuchungen über die Bewertung und Güteerkmale des Eichenholzes aus verschiedenen Wuchsgebieten. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. 23. Sauerländer's Verlag. Frankfurt a. M.

Schulz H (1961): Die Beurteilung der Qualitätsentwicklung junger Bäume. Forstarchiv 32(5): 89-99.

Schütz J (1979): Le chêne est-il devenu l'enfant pauvre de notre sylviculture? Schweizerische Zeitung für das Forstwesen 130:1047-1070.

Schütz J (1989): Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 140: 1069–1074.

Schütz J (2001): Der Plenterwald: Und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin-Wien, 207S.

Seeholzer M (1934): Zur Wasserreiserfrage. Forstwissenschaftliches Centralblatt 56(13): 437-448. DOI: 10.1007/BF01885963

Sevrin E (1997): Les chênes sessile et pédonculé. Institut pour le développement forestier. Paris, 97 S.

Short I, Hawe J (2012): Possible silvicultural systems for use in the rehabilitation of poorly performing pole-stage broadleaf stands – Coppice-with-standards. Irish Forestry 69(1&2): 148-166.

Skrzyszewski J, Pach M (2015): Crookedness of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) growing under a canopy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Scandinavian Journal of Forest Research 30(8): 688-698. DOI: 10.1080/02827581.2015.1048713

Sliwa J (1986): Qualität der Ausleseebäume in Eichenjungbeständen. (Diplomarbeit) Ludwig-Maximilians-Universität München.

Spellmann H, Baderschneider A (1988): Erste Auswertung eines Traubeneichen-Pflanzverbands- und Sortimentsversuches im Forstamt Hardegesen/ Solling. *Forst und Holz* 43(18): 447-450.

Spellmann H, Diest v. W (1990): Entwicklung von Z-Baum-Kollektiven in langfristig beobachteten Eichen-Versuchsflächen. *Forst und Holz* 45(19): 573-580.

Spiecker H (1983): Durchforstungsansätze bei Eiche unter besonderer Berücksichtigung des Dickenwachstums. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 154: 21-38.

Spiecker H (1991): Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. und *Quercus robur* L.). Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 72, 151 S.

Storch J (2011): Astentwicklung und Astreinigung in Abhängigkeit vom Dickenwachstum bei Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Eiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.; *Quercus robur* L.). (Dissertation). Freiburg, 285 S.

Suchant R, Burghardt F, Calabrò S (2010): Beurteilung von Wildverbiss in Naturverjüngungen. Hrsg. MLR, ForstBW, FVA BW, LJV BW, Forstkammer BW. 104 S.

Summa J, Mosandl R (2009): Waldbauliche Untersuchungen zur Qualität von Mittelwald-Lassreiteln. *AFZ – Der Wald* 6: 296-299.

Sweeney O, Martin R, Irwin S, Kelly T, O'Halloran J, Wilson M, McEvoy P (2010): A lack of large-diameter logs and snags characterizes dead wood patterns in Irish forests. *Forest Ecology and Management* 259(10): 2056-2064. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.02.016

Szymanski S (1986): Die Begründung von Eichenbeständen in Nest-Kulturen. *Forst und Holzwirt* 41: 3–7.

Szymanski M, Pazdrowski W, Kaźmierczak K, Nawrot m, Werner M, Mańka K (2010): Proces oczyszczania się pni dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) a pierśnica drzew w drzewostanach gospodarczych. *Leśne Prace Badawcze* 71(1): 61–73. DOI: 10.2478/v10111-010-0004-3

Thommen J, Achleitner A (2009): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 4. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 1066 S.

Thünen-Institut (2016): Dritte Bundeswaldinventur – Ergebnisdatenbank. <https://bwi.info>, Aufruf am: 18.05.2016

Travaglini D, Chirici G (2006): Deadwood assessment. ForestBIOTA Work report, 20 S.

Treiber R (2002): Mittelwaldnutzung – Grundlage der Vegetationsdynamik und Artenvielfalt in Wäldern der südsäsischen Hardt. Naturschutz und Landschaftsplanung 34(11): 334–345.

Treiber R (2003): Genutzte Mittelwälder – Zentren der Artenvielfalt für Tagfalter und Widderchen im Südsass. Naturschutz und Landschaftsplanung 35(1): 50–62.

Uhl E, Metzger H, Seifert T (2006): Dimension und Wachstum von solitären Buchen und Eichen. DVFFA – Sektion Ertragskunde Bericht Jahrestagung 47-53.

Uhl E, Biber P, Ulbricht M, Heym M, Horváth T, Lakatos F, Gál J, Steinacker L, Tonon G, Ventura M, Pretzsch H (2015): Analysing the effect of stand density and site conditions on structure and growth of oak species using Nelder trials along an environmental design, evaluation methods, and results. Forest Ecosystems 2015 2(17). DOI:10.1186/s40663-015-0041-8

UNCED (1992): Agenda 21 Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung Rio de Janeiro, Juni 1992. 361 S.

Urban D (1982): Regressionstheorie und Regressionstechnik. Teubner Studienskripten, Stuttgart, 245 S.

Utschig H (1992): Zielsetzung des ertragskundlichen Versuchswesens im Wandel – dargestellt am Beispiel langfristiger Eichenversuche. Forstwissenschaftliches Centralblatt 111(1): 117-128. DOI: 10.1007/BF02741664

Utschig H (2000): Wachstum vorherrschender Buchen in Abhängigkeit von Standort und Behandlung. Forst und Holz, Sonderdruck 2: 44-50.



Utschig H, Bachmann M, Dursky J (1993): Wirkung verschiedener Durchforstung auf Struktur und Wachstum. *AFZ – Der Wald* 6: 271-274.

Utschig H, Pretzsch H (2001): Der Eichen-Durchforstungsversuch Waldleiningen 88. Auswirkungen unterschiedlicher Eingriffsstärken nach 65 Jahren Beobachtung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 120(1): 90-113. DOI: 10.1007/BF02796084

Vanderwel M, Caspersen J, Woods M (2006): Snag dynamics in partially harvested and unmanaged northern hardwood forests. *Canadian Journal of Forest Research* 36(11): 2769-2779. DOI: 10.1139/X06-173

Vanselow (1960): Die Waldbautechnik der Eiche im bayerischen Spessart in geschichtlicher Betrachtung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 79(9): 270-286. DOI: 10.1007/BF01815007

Vlad J (1940): Zuwachsverhältnisse im Mittelwald. (Dissertation), Ludwig-Maximilians-Universität München.

Vuidot A, Paillet Y, Archaux F, Gosselin F (2011): Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats. *Biological Conservation* 144(1): 441-450. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.09.030

Wachter H (2009): Eichenheisterpflanzung – Eichensaat, ein Vergleich nach 100 Jahren. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 180 (9/10): 177-183.

Walentowski H, Gulder H-J, Kölling C, Ewald J, Türk W (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. *Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft* Nr. 32. Freising. 107 S.

Walentowski H, Ewald J, Fischer A, Kölling C, Türk W (2006): *Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns*. Geobotanica Freising, 441 S.

Ward W (1966): Epicormic branching of black and white oaks. *Forest Science* 12(3): 290-296.

Weinreich A (2000): Qualitätsentwicklung junger Eichen in Bestandeslücken. (Dissertation) Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

West B, Galecki A, Gillespie B, Welch K (2007): *Linear mixed models. A practical guide using statistical software*. Chapman & Hall/CRC, 440 S.

Wiedemann E (1935): Zur Klärung der Durchforstungsbegriffe. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 67: 56-64.

Wiedemann, E. (1949): Ertragstabellen der wichtigen Holzarten bei verschiedener Durchforstung sowie einiger Mischbestandsformen. Schaper, Hannover. 100S.

Wignal T, Browning G, Mackenzie A (1987): The Physiology of epicormic bud emergence in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) Responses to partial notch girdling in thinned and unthinned stands. Forestry 60(1): 45-56.

Wignal T, Browning G (1988): The effects of stand thinning and artificial shading on epicormic bud emergence in Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.). Forestry 61(1): 45-59.

Wilhelm G, Rieger H (2013): Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie - Eine Strategie für den qualitätsgeleiteten und schonenden Gebrauch des Waldes unter Achtung der gesamten Lebewelt, Eugen-Ulmer, Stuttgart 207S.

Wilhelm G, Letter H, Eder W (1999): Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. AFZ – Der Wald 5: 232-240.

Wilhere G (2003): Simulations of snag dynamics in an industrial Douglas-fir forest. Forest Ecology and Management 174(1-3): 521-539. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00069-5

Winter S, Möller G (2008): Microhabitats in lowland beech forests as monitoring tool for nature conservation. Forest Ecology and Management 255(3-4): 1251-1261. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.029

Wöhe G (2005): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 22. Auflage, Vahlen, München 1220 S.

Ziegenhagen B, Kausch W (1995): Produktivität von jungen beschatteten Eichen (*Quercus robur* L.) in Abhängigkeit von Sprossmorphologie und Blattanatomie. Forest Ecology and Management 72(2-3): 97-108. DOI: 10.1016/0378-1127(94)03482-C

Zieren A (1970): Zur Ästung von Esche und Eiche. AFZ – Der Wald 25(36): 771-772.

## 11 Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Natürliche Wuchsklassen – Einteilungsschema nach Mosandl und Paulus (2002)	23
Tab 3.2: Benennung der Versuchsbestände	24
Tab. 3.3: Zeitlicher Ablauf von Messungen, Pflegeeingriffen und Auswahl von Ausleseebäumen im Eichenpflegeversuch	28
Tab. 3.4: Behandlungsprogramm der einzelnen Versuchspartzen seit Versuchsbeginn	29f
Tab. 3.5: Eckpunkte der waldbaulichen Behandlung in den Traubeneichenbeständen im Jahr 2012	31
Tabelle: 4.1: Erhobene Variablen für die waldbauliche Studie	42
Tab. 4.2: Kennwerte der Bestände zu Versuchsbeginn im Jahr 1985 sowie vor den Eingriffen der dritten Pflege bzw. fünften Aufnahme im Jahr 2012, nach Baumarten getrennt.	55
Tab. 4.3: Kennwerte der Bestände zu Versuchsbeginn im Jahr 1985 sowie nach den Eingriffen der dritten Pflege bzw. fünften Aufnahme im Jahr 2012, nach Baumarten getrennt.	53
Tab. 4.4: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die realen Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme	54
Tab. 4.5: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Brusthöhendurchmesser (BHD) [mm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012	55
Tab. 4.6: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf den realen Brusthöhendurchmesser	56
Tab. 4.7: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima des Brusthöhendurchmessers der Eichen-Z-Stämme für das Jahr 2012 im Simulationsgeschehen „average growth“ [mm] – Werte für die Behandlung Mäßige positive Förderung und starke positive Förderung simuliert	58
Tab. 4.8: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die virtuellen Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme im Simulationsgang „average growth“	59
Tab. 4.9: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf den virtuellen Brusthöhendurchmesser im Simulationsgang „average growth“	60
Tab. 4.10: Simulierte und reale Brusthöhendurchmesser der Eichen-Z-Stämme für das Jahr 2012 in der Simulationsvariante „best growth“ [mm]	62
Tab. 4.11: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die virtuellen Brusthöhendurchmesser der Z-Stämme im Simulationsgang „best growth“	62
Tab. 4.12: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf den virtuellen Brusthöhendurchmesser im Simulationsgang „best growth“	63
Tab. 4.13: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Höhen [cm] der Traubeneichen-Z-Stämme im Jahr 2012	65
Tab. 4.14: Statistische Modellparameter der Höhenregression für Eiche	66
Tab. 4.15: Statistische Modellparameter der Höhenregression für Buche	67
Tab. 4.16: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Höhe der Z-Stämme	68
Tab. 4.17: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Kronenschirmflächen [m <sup>2</sup> ] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012	69
Tab. 4.18: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Kronenschirmfläche der Z-Stämme	70
Tab. 4.19: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf die Kronenschirmfläche [ln m <sup>2</sup> ]	71
Tab. 4.20: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Kronenansatzhöhen [cm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012:	73

Tab. 4.21: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Kronenansatzhöhe der Z-Stämme	74
Tab. 4.22: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der astfreien Schaftlänge [cm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012	75
Tab. 4.23: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die astfreie Schaftlänge der Z-Stämme	76
Tab. 4.24: Paarweise Vergleiche der waldbaulichen Behandlungen hinsichtlich der Wirkung auf die astfreie Schaftlänge [cm]	77f
Tab. 4.25: Einfluss der waldbaulichen Behandlung auf die Länge der Totastzone der Z-Stämme	79
Tab. 4.26: Mittelwerte, Standardabweichung, Maxima und Minima der Totastzone [cm] der Eichen-Z-Stämme im Jahr 2012	80
Tab. 4.27: Ergebnisse der Prüfung nach einem Zusammenhang von waldbaulicher Behandlung und Wasserreiserbesatz auf den ersten 5 Metern der Z-Stämme	81
Tab. 4.28: Anzahl der Z-Stämme mit Wasserreisern oberhalb von 10 Metern Höhe aufgeteilt nach den beiden Ausbildungsklassen >5 und <5 Stück	83
Tab. 4.29: Zwieselanteile der Z-Stämme	84
Tab. 4.30: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests für die Unterscheidung von waldbaulicher Wirkung auf das Auftreten von Krümmungen nach Versuchsbeständen getrennt	87
Tab. 4.31: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests für die Unterscheidung von waldbaulicher Wirkung auf die indexierte Qualität nach Versuchsbeständen getrennt	87
Tab. 4.32: Mittlere jährliche Verlustrate an Eichenanteilen im Herrschenden in den Kontrollparzellen	94
Tab. 5.1: Umtriebszeiten und BHD-Startwerte für die Simulationen des Z-Baumwachstums (U= Umtriebszeit)	126
Tab. 5.2: Astfreie Schaftlänge (AFS) in den Beständen in den jeweiligen Behandlungen und unterstellte Wertholz mengen bei Erreichen von $U_{\text{Ende}}$	128
Tab. 5.3: Kombinatorische Zusammensetzung der unterschiedlichen Einzelbaum- und Bestandeszuwächse sowie der Pfl egeturnusse in den acht Simulationsszenarien mit gegebenem Zieldurchmesser und definierter Umtriebszeit	129
Tab. 5.4: Kennwerte der Entnahme 2012 für die Behandlungsvarianten in den Beständen	132
Tab. 5.5: Aufgliederung der postulierten Hiebsmassen in Sortimente nach RVR bei bestimmten Altern	133
Tab. 5.6: Unterstellte Kostensätze für in der Vergangenheit real stattgefundene Behandlungen der jungen Traubeneichenbestände	134
Tab. 5.7: Holzpreise einzelner Sortimente, die für die finanzielle Bewertung der Durchforstungsvarianten verwendet wurden	134
Tab. 5.8: Darstellung der Annuitäten [€/ha] der acht Simulationsvarianten bei definierten BHDs und jeweiligen Umtriebszeiten	141
Tab. 5.9: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Kulturkosten bei 5000 €/ha	143
Tab. 5.10: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Kulturkosten bei 0 €/ha	145
Tab. 5.11: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Zinsfuß bei 1 %	147
Tab. 5.12: Darstellung der Annuitäten [€/ha/Jahr] der acht Simulationsvarianten in einer Sensitivitätsanalyse – Zinsfuß bei 3 %	148

---

Tab. 6.1: Statistische Parameter der linearen Regressionsfunktionen zur Bestimmung der Höhe in Abhängigkeit des BHD (SD = Standardabweichung) für stehendes Totholz	188
Tab. 6.2: Anzahl [N/ha] stehenden Totholzes nach Baumart und Brusthöhendurchmesser in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)	191
Tab. 6.3: Volumen[m <sup>3</sup> /ha] stehenden Totholzes nach Baumart und Brusthöhendurchmesser in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)	192
Tab. 6.4: Volumen [m <sup>3</sup> pro ha] des Totholzes nach unterschiedlichen Kompartimenten in den Kontrollflächen der fünf untersuchten Bestände des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)	193
Tab. 6.5: Anzahl der Habitatbäume nach Baumart in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)	195
Tab. 6.6: Grundfläche [m <sup>2</sup> pro ha] der Habitatbäume nach Baumart in den Beständen und Behandlungen des Traubeneichenpflegeversuchs (CV = Variationskoeffizient)	195
Tab. 6.7: Statistische Parameter der linearen Regressionsfunktionen zur Bestimmung der Kronenbreite in Abhängigkeit des BHD (SD = Standardabweichung)	196

## 12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Bestandesfläche der Eiche in Deutschland nach Altersklassen (nach BWI <sup>3</sup> )	7
Abb. 3.1: Lage der Versuchsflächen in Deutschland (Quelle: <a href="http://weltkarte.com">http://weltkarte.com</a> , abgerufen am 06.12.2016)	18
Abb. 3.2: Klimadiagramm Weibersbrunn/ Spessart (Quelle: <a href="http://de.climate-data.org">http://de.climate-data.org</a> )	20
Abb. 3.3: Klimadiagramm Kist/ Mainfränkische Platte (Quelle: <a href="http://de.climate-data.org">http://de.climate-data.org</a> )	21
Abb. 3.4: Lagepläne der Versuchsbestände im Traubeneichenpflegeversuch	27
Abb. 3.5: Darstellung der Verteilung von Auslesebäumen und entnommenen Bedrängern über das BHD-Spektrum in der zweiten Pflege im Jahr 1998 im Traubeneichenpflegeversuch	32
Abb. 4.1: Mikroskopisches Bild eines Bohrkerns in 100-facher Vergrößerung (die Jahrringgrenzen sind durch die Ringporigkeit gut zu erkennen und mit einem Pfeil gekennzeichnet).	42
Abb. 4.2: Schematische Darstellung der vier Hierarchieebenen des Traubeneichenpflegeversuchs	43
Abb. 4.3: Matrix zur Berechnung von odds	48
Abb. 4.4: P-P-Plot der Regression BHD zu Höhe für die Baumart Eiche	66
Abb. 4.5: P-P-Plot der Regression BHD zu Höhe für die Baumart Buche	67
Abb. 4.6: Anteile von Zwieseln an den Z-Stämmen in der jüngsten Altersklasse des Traubeneichenpflegeversuchs	85
Abb. 4.7: Anteile von Zwieseln an den Z-Stämmen in der mittleren Altersklasse des Traubeneichenpflegeversuchs	85
Abb. 4.8: Anteile von Zwieseln an den Z-Stämmen in der ältesten Altersklasse des Traubeneichenpflegeversuchs	86
Abb. 4.9: Verteilung der Z-Stämme des Traubeneichenpflegeversuchs über die Kraft'schen Klassen [Standort 0 = Buntsandstein, Standort 1 = Muschelkalk, WB = waldbauliche Behandlung]	90
Abb. 4.10: Eichenanteile an den h100 in den Kontrollflächen nach 29 Jahren. Gestartet wurde immer bei 100%. Fehlerbalken entsprechen einem Standardfehler.	92
Abb. 4.11: Darstellung des Ausfalls der jungen Traubeneichen in linearer Extrapolation in den Kontrollflächen des Versuchs	93
Abb. 5.1: Darstellung des reduzierten Volumenzuwachses über die Zeit nach Jüttner (1955) bzw. bei einer jährlichen Zuwachsreduktion um 1%	127
Abb. 5.2: Bodenertragswerte zu jedem Zeitpunkt t getrennt nach Versuchsbeständen und Pflegeregimen	151
Abb. 5.3: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs bei Kulturkosten von 5000 €/ha	155
Abb. 5.4: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen des Traubeneichenpflegeversuchs bei Kulturkosten von 0 €/ha	156
Abb. 5.5: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei einem Zinssatz von 1%	157
Abb. 5.6: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei einem Zinssatz von 3%	159
Abb. 5.7: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei mittlerem Z-Baum-Wachstum (averageTree-growth)	164

---

Abb. 5.8: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei halbierten Kulturkosten von 5.000 € /ha	165
Abb. 5.9: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei Kulturkosten von 0 € /ha	166
Abb. 5.10: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei 1%	168
Abb. 5.11: Bodenertragswerte der einzelnen Behandlungsvarianten in den fünf Versuchsbeständen bei 3%	170
Abb. 6.1: Überschirmungsprozente durch Eichen in Habitatbaumfunktion in den fünf Beständen und jeweils vier Behandlungsvarianten des Traubeneichenpflegeversuchs. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.	197
Abb.6.2: Brusthöhendurchmesser [mm] der Habitateichen vor und nach Durchforstung in den jeweiligen Pflegeregimes in allen Beständen	198
Abb.6.3: Grundfläche [m <sup>2</sup> /ha] der Habitateichen vor und nach Durchforstung in den jeweiligen Pflegeregimes in allen Beständen	198