

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
LEHRSTUHL FÜR WALDBAU

Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität
(Resistenz und Elastizität) von Fichtenreinbeständen in der
Bergmischwaldstufe der Bayerischen Alpen

-

Eine Analyse aus waldbaulich-forstökonomischer Sicht

Sebastian Höllerl

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

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. A. Göttlein
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. R. Mosandl
2. Univ.-Prof. Dr. Th. Knoke
3. Univ.-Prof. Dr. Chr. Ammer
Georg-August-Universität Göttingen

Die Dissertation wurde am 05.09.2008 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 22.01.2009 angenommen.

Vorwort

οἶδα οὐκ εἰδώς (*oída ouk eidós*) „Ich weiß, dass ich nicht(s) weiß“, so spricht Sokrates laut einem etwas verkürztem Zitat aus Platons „Apologie“ (FRIEDRICH 1988) von sich selbst. Damit meint er aber nicht, dass es die Wahrheit nicht gibt, sondern er stachelt vielmehr dazu an, sie zu suchen. Auf der Suche nach Wahrheit war sein Mittel der Wahl der Dialog. Indem er sich mit den Menschen über bestimmte Dinge unterhielt, versuchte er, gemeinsam mit ihnen Weisheit hervorzubringen (DE CRESCENZO 1990).

Nun hat sich Sokrates allerdings nicht mit Fichtenwäldern beschäftigt. Wenn man ihn zu einem Ausflug in die Natur einlud, antwortete er nur lächelnd: „Felder und Bäume wollen mich nichts lehren, wohl aber die Menschen in der Stadt“ (DE CRESCENZO 1990)¹. Er befasste sich mit wesentlich umfassenderen Dingen, wie der Weisheit an sich und der Ethik. Dennoch mag der Analogieschluss erlaubt sein, dass auch die vorliegende Untersuchung durch den Dialog mit verschiedensten Personen gewonnen hat. Wenn ich also in der Diktion von Sokrates sagen darf „Ich weiß, dass ich heute ein wenig mehr über Fichtenbestände in der Bergmischwaldstufe weiß als zu Beginn der Untersuchung“, dann liegt dies auch an den vielen Ideengebern, die Anregungen gaben und ihrerseits die Dinge kritisch hinterfragten.

Aber nicht nur die Gesprächspartner hatten einen Anteil am Ergebnis dieser Studie sondern viele hilfreiche Menschen, die mich auf verschiedenste Art und Weise unterstützten. Damit ich mit meinem herzlichen Dankeschön möglichst niemanden vergesse, habe ich einige Gruppen gebildet:



Doktorväter: Zuerst möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Reinhard Mosandl und dem Zweitgutachter Prof. Dr. Thomas Knoke bedanken. Professor Mosandl hat mir nicht nur ermöglicht, am Lehrstuhl für Waldbau zu arbeiten, sondern mir auch dieses interessante Thema anvertraut. Er ließ mir alle Freiheit bei der Bearbeitung des Themas und stand bei schwierigen Fragen stets zur Verfügung. Vor allem auf den „roten Faden“ hatte er immer ein wachsames Auge.

Professor Knoke ist nicht nur der Vater des ökonomischen Teils meiner Untersuchung. Er brachte mir auf freundschaftliche Art wichtige Grundlagen des wissenschaftlichen Arbeitens bei und hatte stets einen konstruktiv kritischen Blick auf die entstehenden Ergebnisse.

¹ Aus Platon: Phaidros.



Ideengeber und Kollegen: Hier seien an erster Stelle Msc. Hany El Kateb und Dr. Bernd Felbermeier genannt. Sie waren zusammen mit Prof. Mosandl die gedanklichen Väter des Projektes und haben demzufolge auch während der Bearbeitung wichtigen Input geleistet. Hany El Kateb hat nicht nur Nächte lang an der statistischen Konzeption gefeilt, sondern er hat mir auch in vielen anderen Bereichen das „wissenschaftliche Laufen“ beigebracht. Bernd Felbermeier hat einerseits seine Spezialkenntnisse bei der Auswertung von Datenbanken und der Erstellung des Programms „Holzsortierung“ eingebracht; andererseits hatte er immer einen freundlichen Rat, wenn es gar nicht mehr weiter gehen wollte.

Vor allem in der Anfangsphase der Arbeit – als der Berg schier nicht zu erklimmen erschien – spendete mir Prof. Dr. Christian Ammer nicht nur auf seine verständnisvolle Art den einen oder anderen Trost. Er hatte auch so manche zündende Idee, die den Einstieg in die Arbeit erleichterte. Nachdem er während meines Studiums die grüne Stelle am Waldbau-Lehrstuhl inne hatte und für mich eine Art Vorbild darstellte, ist er auch mit „schuld“ daran, dass ich jetzt am Waldbau-Lehrstuhl tätig bin.

Auch die anderen Kollegen am Lehrstuhl, Prof. Dr. Michael Weber, Dr. Bernd Stimm, Dr. Sven Günter, Dr. Joachim Schmerbeck und Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Peter Burschel haben durch fruchtbare Diskussionen zu einzelnen Aspekten ihren Teil beigetragen.

Die Doktorandencrew am befreundeten Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung hat mir nicht nur gelegentlich den Rücken hinsichtlich einiger Lehrstuhl-Arbeiten freigehalten. Auch von hier kam so manche fachliche Hilfestellung. Die Crew besteht aus: Johannes Wurm (Danke für die Starthilfe zur „Info-Gap-Theory“), Andreas Hahn, Sebastian Stang, Bernhard Beinhofer (Danke für die Unterstützung in Überlebenswahrscheinlichkeits- und Monte-Carlo-Fragen), Christian Clasen, Patrick Hildebrand und Ruth Dirsch.

Auch einigen Kollegen am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde bin ich zu großem Dank verpflichtet: Prof. Dr. Hans Pretzsch und Dr. Peter Biber für die Überlassung des Waldwachstumssimulators „Silva“ und die Einführung in diese Software. Des Weiteren Leonhard Steinacker und Gerhard Schütze für die Unterstützung bei den Bohrspananalysen. Außerdem Dr. Hans-Joachim Klemmt, Prof. Dr. Thomas Seifert, Stefan Seifert, Enno Uhl, Martin Nickel sowie Uli Kern.

Von vielen weiteren Kollegen habe ich große Hilfe erfahren: Dr. Klaus Wagner hat mich schon während meiner Diplomarbeit in Sachen „Empirische Sozialforschung“ betreut und war

auch hier entscheidend an der Konzeption für den ersten Untersuchungsteil beteiligt. Dr. Marlen Wienert lieferte den wichtigen Tip zur Methode der Triangulation.

Dr. Jürgen Zander hat mir eine phänomenale Einführung in den Gebrauch des Theodoliten gegeben und wusste als Excel-Spezialist zu jeder Zeit Antwort auf die kniffligsten Fragen (auf Wunsch kamen die Macros sogar mit dem Fahrrad-Express nach Hause). Unschätzbare Hilfe im EDV-Bereich erfuhr ich durch Dr. Mascht Döllner und Matthias Müller. Herzlichen Dank auch an Herrn Dr. Jens Schröder (TU Dresden), der mir während der Forstwissenschaftlichen Tagung 2006 spontan das Programm CROCOM zur Verfügung stellte.

Weiterhin möchte ich mich bedanken bei Prof. Dr. Eckhard Kennel, Dr. Roland Baier, Dr. Helmut Blaschke, Prof. Dr. Jörg Ewald (FH Weihenstephan), Prof. Dr. Gerhard Müller-Starck, Prof. Dr. Manfred Schölch (FH Weihenstephan), Prof. Dr. Eduard Hochbichler (BOKU Wien), Prof. Dr. Reza Marvie-Mohadjer und von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Dr. Franz Binder, Stefan Binner, Dr. Christian Kölling, Uli Stetter und Michael Wolf.



Bienenfleißige Helfer: Die Durchführung der Studie wäre ohne die vielen fleißigen studentischen Hilfskräfte nie möglich gewesen. Hier möchte ich mich zunächst bei meinen phantastischen Gebirgs-Hiwis bedanken. Dies waren: Christian Bach, Rasmus Ettl, Stefan Friedrich, Daniel „Der kleine Münsterländer“ Klein, Bastian Schuhbauer und HaiFeng Zhang. Nachdem alle Beteiligten sich innerhalb kürzester Zeit voll mit der Arbeit identifizierten, mitdachten und selbständig die Arbeitsabläufe optimierten, war die Leitung dieser Gruppe eine echte Freude. Abgesehen davon, dass die letzten Bohrspäne z.T. im Mondschein gezogen wurden und wir herausfanden, dass der Theodolit auch noch mit der Stirnlampe betrieben werden kann, kamen kulinarische Qualitäten meiner Helfer zu Tage: Während drei Monaten Aufenthalt auf verschiedenen Berghütten haben wir lediglich vier Gerichte zweimal gekocht...

Conny Schreck verbrachte schließlich einige Wochen im Fakultätskeller bei der Auswertung der Bohrspäne. Ich hoffe inständig, dass sie das ständige Piepsen der Auswertungsanlage ohne psychische Spätfolgen verkraftet hat.

Wertvolle Hilfe leistete später Christina Bauer von der LWF bei der Standortkartierung der Flächen.

Uli Kern half beim Ideen-Sammeln für die Icons im Vorwort. Mein Bruder Heiner fertigte schließlich die schönen Zeichnungen an.

Die Abwicklung einer Projektarbeit wäre letztlich unmöglich ohne die guten Geister im Sekretariat. Edith Lubitz brachte mir die Verwaltung der Projektmittel bei und erledigte einen Großteil der Buchungen. Von vielen weiteren verwaltungsmäßigen Sorgen befreiten mich Anja Dost, Anja Brinckmann (Danke für die Nervennahrung!), Violeta Aramayo sowie hin und wieder in „Amtshilfe“ Petra Zeller. Außerdem möchte ich mich bei unserer ehemaligen TA Karin Thoroe bedanken, die mit akribischer Genauigkeit die Aufnahmedaten in den PC eingab.

Schließlich gab es auch noch weitere bienenfleißige Helfer, die für inhaltlichen Input sorgten. Stefanie HUBER (2006) führte eine kleine aber feine Literaturarbeit durch. Korbinian WOLF (2008) träumt nach seiner Masterarbeit vermutlich noch in Jahrzehnten von Konkurrenzindizes. Und Remigius HAMMERL (2008) hatte mit seiner Diplomarbeit einen entscheidenden Anteil an den ökonomischen Auswertungen.



Interviewpartner: Für ihre große Unterstützung möchte ich mich herzlich bei allen Interviewpartnern bedanken. Sie opferten mir bereitwillig ihre Zeit und beantworteten die Fragen in einer konstruktiven kollegialen Atmosphäre. Dies ist durchaus nicht selbstverständlich, da die Interviews etwa zwei Stunden dauerten und sich im Fall der Revierförster oft noch ein ausführlicher Waldbegang anschloss. Die Interviewten waren die Herren Bauer, Brosinger, d'Heureuse, Eser, Hugg, Heini, Hildebrand, Huber, Huber, Janner, Kainz, Kalischko, Kornprobst, Kraus, Krebs, Lackner, Leitenbacher, Loferer, Löw, Neubauer, Neuerburg, Obermayer, Pfadler, Richter, Dr. Sautter, Sleik, Süß, Thiele und Wieser.



Datenquellen: Auch wenn viele der verwendeten Daten primär erhoben wurden, war ich auch immer wieder auf Daten anderer angewiesen. Hinter dem Begriff „Datenquellen“ verbergen sich Personen, die „wussten, wen man fragen muss“, Personen, die den Servern über die geeigneten Abfragen die richtigen Daten entlocken konnten und Personen, die eigene Zusammenstellungen gemacht hatten. Es seien hier Margret Möges, Herr Hölldorfer, Herr Klemm, Herr Reißner, Herr Meier und Niki Gieler genannt.

Aber auch bei der Literatursuche gab es einige Datenquellen. Einzelne Artikel besorgten Rudi Seitz und Günter Weber. Großer Dank gilt aber auch den Mitarbeitern des Dokumentum-

Service in der Bibliothek der TU München. Es gab Wochen, in denen sie im Viertelstunden-Takt zum Scanner flitzen mussten.



Hausherren: Während der Außenaufnahmen waren wir verschiedentlich in Forsthütten untergebracht. Für die freundliche Überlassung und die Einweisung vor Ort möchte ich mich bei den Herren Obermayer, Höglmüller, Süß, Schöler, Eser und Kalischko bedanken.



Geldgeber: Die Untersuchung wurde großzügig durch das Kuratorium für forstliche Forschung unterstützt. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken. Namentlich erwähnt seien die für die Abwicklung zuständigen Personen, Frau Kolbeck, Herr Leih und Dr. U. Sauter.



Freunde: Während der letzten Monate habe ich aufgrund akuter Zeitnot viele Freundschaften vernachlässigt. Ich gelobe Besserung und bin umgekehrt sehr dankbar, dass Ihr mich seelisch-moralisch-kulinarisch unterstützt habt. Stellvertretend für viele möchte ich mich bedanken bei: Renätsche, Catja und dem Rest des Förster-Ghettos (Bewahrung vor Hungertod), Marlen (Korrekturen), Soffi & Steffi (das gute Betriebsklima in der Uni), Kolja und Bibi (Quartier in Ruhpolding), Vreni, Nadine, Schmittrich, Julchen, Kirsten sowie Lars & Uli (der Draht zur Außenwelt), Markus Schaller und Marius (gutes Zureden und Entlastung bei jagdlichen Pflichten), Trina (Latte Macchiato), Ilona (Gräzistisch-Philosophische Fragen) und Eva (Kerzerl zum Rigorosum).



Familie: Schließlich möchte ich mich bei denen bedanken, die mir während der gesamten Zeit die größte Unterstützung waren. Meinen Eltern und meinem Bruder möchte ich diese Arbeit widmen. Ganz lieben Dank meiner Mumi, der weisen Frau, die sich zeitweise noch nicht einmal anzurufen traute, „damit der Bub nicht bei der Arbeit gestört wird“ und dennoch immer präsent war. Ohne jemals wissenschaftlich gearbeitet zu haben, wusste sie auf wundersame Weise, wann es Zeit war, die Vorarbeiten abzuschließen und mit dem Schreiben zu beginnen. Ebenso herzlichen Dank auch meinem Paps, der sich nicht nur inhaltlich ständig mit meiner Thematik befasste, sondern auch ein niemals müde werdender

Motivator war. Er verfolgte die andere Strategie und wir telefonierten zeitweise täglich (Somit konnte er auch meine Mutter auf dem Laufenden halten). Nachdem er selbst Bücher schreibt (allerdings wesentlich nahrhaftere, (HÖLLERL UND SCHMITT 1997, HÖLLERL 2004)), hatte er auch die Lizenz zum gnadenlosen Korrekturleser. Aufgrund seines eigenen waldbaulichen Hintergrundes holte er mich immer wieder auf den Boden der forstlichen Tatsachen zurück. Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Bruder, der für mich quasi das Bindeglied zur Realität darstellte. Es gibt eben noch andere Menschen, die nachts am PC sitzen. Sich gegenseitig von verschiedenen Problemen zu erzählen, kann ungemein verbinden. Zu meinem Bruder gehört klassischerweise auch Aki. „Akbert“ kann einer Regressionsanalyse auch etwas Gemütliches abgewinnen: solange er bei deren Entstehung zu Haydns 6. Sinfonie unter dem Schreibtisch in seinem Korb pennen darf...

Erwähnt seien auch Maxl und Michaela, die ebenso gespannt wie geduldig darauf gewartet haben, dass der „Onkel Bastian“ endlich mit seiner Arbeit fertig wird und wieder zu anderen Dingen zu gebrauchen ist.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei dem großen Papa bedanken, der einen manchmal ein Stückchen trägt, wenn der Weg zu beschwerlich werden droht.

*Nicht allein für die Zwecke einer tüchtigen Nutzholzproduktion,
sondern auch im Interesse des Schutzes unserer Nadelholzbestände
gegen Schneebruch, Sturmschaden, Insektengefahr u.s.w.
muß es wünschenswert sein,
daß so viel als möglich auf Mischung von Nadel- und Laubholz hingearbeitet werde.*

*[...] Bei den Mischungen von Nadel- mit Nadelholz
hat die Tanne eine ähnliche Rolle wie dort die Buche zu übernehmen;
auch ihr kann man, nach den besonders in neuerer Zeit gesammelten Erfahrungen,
ein erheblich weit ausgedehntes Verbreitungsgebiet mit gutem Gedeihen zusprechen.*

KARL GAYER 1886

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Inhaltsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens und Forschungsansatz	6
2.1 Resistenz, Resilienz und Elastizität als Aspekte von Stabilität	6
2.2 Übertragung der Aspekte auf die Stabilität von Fichtenbeständen in Schutzwäldern	7
2.3 Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe	8
2.3.1 Entstehung der Bestände und aktuelle Situation	8
2.3.2 Gefährdungen, Stabilitätsanforderungen und Stabilitätsbeurteilung	13
2.4 Handlungsempfehlungen zur Stabilitätspflege	21
2.4.1 Eingriffe zur Erhöhung der Resistenz	21
2.4.1.1 Fichtendickungen und Stangenhölzer stabilisieren – nach ZELLER (1996)	21
2.4.1.2 Überführung in Plenterbestände und Strukturdurchforstung	23
2.4.1.3 Weitere Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der Resistenz	27
2.4.2 Eingriffe zur Erhöhung der Elastizität	28
2.4.3 Rationalisierung der Eingriffe	32
2.5 Der Forschungsansatz: Anwendung der Methode der Triangulation	33
2.5.1.1 Schritt 1: Experteninterviews (Kap. 3)	36
2.5.1.2 Schritt 2: Retrospektive Feldstudie (Kap. 4)	36
2.5.1.3 Schritt 3: Finanzielle Bewertung (Kap. 5)	36
3 Einschätzung der waldbaulichen Maßnahmen durch forstliche Praktiker (Experteninterviews)	38
3.1 Stand des Wissens	38
3.2 Material und Methoden	38
3.2.1 Erhebungstechnik	38
3.2.1.1 Erschließen des Problemfeldes	40
3.2.1.2 Identifikation von Experten	40
3.2.1.3 Der Gesprächsleitfaden	41
3.2.1.4 Pilotphase	45

3.2.1.5	Durchführung der Interviews	45
3.2.2	Auswertungstechnik	46
3.3	Ergebnisse	47
3.3.1	Beschreibung der Probleme hinsichtlich reiner Fichtenbestände	47
3.3.2	Charakterisierung der problematischen Fichtenbestände	49
3.3.2.1	Alter	49
3.3.2.2	Struktur, Schäden und genetisches Material	49
3.3.2.3	Standorte und Lage	51
3.3.2.4	Risikofaktoren	51
3.3.2.5	Verjüngungssituation	52
3.3.2.6	Entstehung der Bestände	53
3.3.3	Bewirtschaftungskonzepte für reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone	54
3.3.3.1	Zielsetzungen bei der Bewirtschaftung	54
3.3.3.2	Eingriffsarten	55
3.3.3.3	Eingriffszeitpunkte, -stärken und -häufigkeiten	58
3.3.3.4	Ernteverfahren	60
3.3.4	Schutzwald und Wirtschaftswald im Vergleich	61
3.4	Diskussion	61
3.4.1	Methode	61
3.4.2	Inhalte	62
3.4.3	Folgerungen für den Aufbau der retrospektiven Feldstudie	63
3.4.4	Folgerungen für die finanzielle Bewertung	64
4	Retrospektive Feldstudie zur Wirksamkeit der waldbaulichen Maßnahmen	66
4.1	Vorhandenes Wissen über resistenz- und elastizitätsbeeinflussende Faktoren	66
4.1.1	Studien zu resistenzbeeinflussenden Faktoren	66
4.1.1.1	Studien zu einzelnen Einflussfaktoren	67
4.1.1.1.1	Einzelbaumfaktoren	67
4.1.1.1.2	Bestandesfaktoren	76
4.1.1.2	Einfluss von waldbaulichen Eingriffen – Empfohlene Konzepte	79
4.1.1.3	Schaddisposition von ungleichförmigen Beständen	82
4.1.1.4	Sturmschadensmodelle	85
4.1.1.5	Folgerungen für die Untersuchung	89
4.1.2	Studien zu elastizitätsbeeinflussenden Faktoren	89
4.1.2.1	Literaturauswertungen	89

4.1.2.2	Folgerungen für die Untersuchung	92
4.2	Material und Methoden	93
4.2.1	Untersuchungsaufbau und Lage der Flächen	93
4.2.2	Datenermittlung	97
4.2.2.1	Flächendaten	97
4.2.2.2	Datenerhebung im Altbestand	98
4.2.2.3	Berechnung zusätzlicher Altbestandsvariablen	100
4.2.2.4	Datenerhebung in der Verjüngung	106
4.2.3	Statistische Auswertung	107
4.2.3.1	Auswertungen auf Einzelbaumebene	107
4.2.3.1.1	Die abhängigen Variablen	109
4.2.3.1.2	Die unabhängigen Variablen	110
4.2.3.2	Varianzanalytische Auswertungen auf Parzellenebene	114
4.2.3.3	Multivariate Varianzanalysen	117
4.2.4	Einsatz der „Info-Gap Decision Theory“ und der „Sharpe-Ratio“ zur Beurteilung der Verjüngungssituation	117
4.3	Ergebnisse	122
4.3.1	Charakterisierung der Altbestände (Resistenz)	126
4.3.1.1	Modellierung von Kronenansatzhöhen und Durchmesserzuwächsen	126
4.3.1.1.1	Kronenansatzhöhen	126
4.3.1.1.2	Einzelbaumzuwächse	129
4.3.1.2	Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen auf die Altbestandsparameter	134
4.3.1.2.1	Bestandesdichten	134
4.3.1.2.2	Brusthöhendurchmesser	136
4.3.1.2.3	h/d-Verhältnisse und weitere Weiser für Wurf- und Bruchstabilität	138
4.3.1.2.4	Kronenlängen und Bekronungsgrad	144
4.3.1.2.5	Vitalität	146
4.3.1.2.6	Schäden	148
4.3.1.2.7	Strukturbeschreibende Parameter	149
4.3.2	Charakterisierung der Verjüngungssituation (Elastizität)	152
4.3.2.1	Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen auf Verjüngungsparameter	152
4.3.2.1.1	Dichte	152
4.3.2.1.2	Höhe	152
4.3.2.1.3	Biomasse	154
4.3.2.1.4	Baumartenzusammensetzung	156
4.3.2.1.5	Vitalität und Schäden	157
4.3.2.2	Beurteilung der Elastizität anhand von Info-Gap-Analyse und Sharpe-Ratio	158
4.3.3	Gemeinsame Charakterisierung von Altbestand und Verjüngung	160

4.3.3.1	Multivariate Varianzanalysen zu Resistenz, Elastizität und Gesamtstabilität	160
4.4	Diskussion	162
4.4.1	Diskussion der Methoden	162
4.4.1.1	Der retrospektive Ansatz	162
4.4.1.2	Die Varianzanalysen	163
4.4.1.3	Die Regressionsanalysen	164
4.4.1.4	Verwendung der „Info-Gap-Methode“ und der „Sharpe-Ratio“	164
4.4.2	Diskussion der Ergebnisse und Vergleiche mit anderen Untersuchungen	166
4.4.2.1	h/d-Verhältnisse	166
4.4.2.2	Biomasseindex	171
4.4.2.3	Kronenlängen	171
4.4.2.4	Vitalität	175
4.4.2.5	Schälschäden	176
4.4.2.6	Strukturindizes	177
4.4.2.7	Verjüngung	179
4.4.2.8	Robustheit und Sharpe-Ratio der Verjüngungsdichten	182
5	Finanzielle Bewertung der waldbaulichen Maßnahmen	184
5.1	Stand des Wissens	184
5.1.1	Finanzielle Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen zur Erhöhung von Resistenz oder Elastizität	184
5.1.2	Integration von Risiken in die finanzielle Bewertung von waldbaulichen Maßnahmen	187
5.2	Material und Methoden	188
5.2.1	Bewertungsgrundlagen	189
5.2.1.1	Datengrundlage	189
5.2.1.2	Auszahlungen	189
5.2.1.3	Einzahlungen	191
5.2.1.4	Sortierung der Holzsortimente	192
5.2.1.5	Erstellung von Wuchsreihen und regressionsanalytischer Ausgleich	193
5.2.2	Deterministische Bewertungsmethoden	194
5.2.2.1	Kapitalwertmethode	194
5.2.2.2	Annuitätenmethode	195
5.2.3	Stochastische Bewertungsmethoden	196
5.2.3.1	Sensitivitätsanalyse	196
5.2.3.2	Risikoanalyse mittels Monte-Carlo-Simulation	198
5.2.3.3	Beurteilung der Behandlungsoptionen anhand der $\mu - \sigma$ -Regel	202
5.2.3.4	Beurteilung der Behandlungsoptionen anhand der Stochastischen Dominanz	204
5.2.3.5	Finanzielle Betrachtung einer Jungwuchspflege ohne Ertrag	207

5.2.3.5.1	Finanzieller Spielraum für Jungwuchspflegemaßnahmen – ohne Berücksichtigung von veränderten Überlebenswahrscheinlichkeiten _____	207
5.2.3.5.2	Sensitivitätsanalyse: Auszahlungen für eine Jungwuchspflege contra erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit _____	208
5.3	Ergebnisse _____	209
5.3.1	Modellierung der Vorrats- und Wertentwicklungen _____	209
5.3.2	Bewertung der Behandlungsvarianten ohne Berücksichtigung von Risiko _____	214
5.3.2.1	Deckungsbeiträge _____	215
5.3.2.2	Kapitalwerte _____	217
5.3.2.3	Annuitäten _____	218
5.3.3	Bewertung der Behandlungsvarianten im Rahmen der Sensitivitätsanalyse _____	219
5.3.3.1	Wirkung unterschiedlicher Holzerntekosten und Holzpreise _____	219
5.3.3.2	Wirkung unterschiedlicher Zinssätze _____	221
5.3.4	Bewertung der Behandlungsvarianten im Rahmen der Risikoanalyse _____	223
5.3.4.1	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen _____	223
5.3.4.2	Beurteilung der Handlungsoptionen anhand der $\mu - \sigma$ -Regel _____	226
5.3.4.3	Beurteilung der Handlungsoptionen anhand der Stochastischen Dominanz _	229
5.3.4.4	Ergebniszusammenschau aus $\mu - \sigma$ -Regel und Stochastischer Dominanz _	234
5.3.4.5	Finanzielle Betrachtung einer Jungwuchspflege ohne Ertrag _____	235
5.3.4.5.1	Finanzieller Spielraum für Jungwuchspflegemaßnahmen – ohne Berücksichtigung von veränderten Überlebenswahrscheinlichkeiten _____	235
5.3.4.5.2	Sensitivitätsanalyse: Auszahlungen für eine Jungwuchspflege contra erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit _____	237
5.4	Diskussion _____	239
5.4.1	Diskussion der Methoden _____	239
5.4.1.1	Deterministische Bewertungsmethoden _____	240
5.4.1.2	Stochastische Bewertungsmethoden _____	242
5.4.1.3	Die verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten _____	244
5.4.2	Diskussion der Ergebnisse _____	245
5.4.2.1	Berücksichtigung von Finanzmittelknappheit _____	245
5.4.2.2	Berücksichtigung von Naturverjüngung _____	246
5.4.2.3	Berücksichtigung von Risiken _____	247
6	Zusammenfassende Diskussion _____	251
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen _____	251
6.2	Würdigung der Forschungsmethodik und Einordnung der Studie in den wissenschaftlichen Kontext _____	255

6.3	Empfehlungen zur Behandlung von reinen Fichtenbeständen im Bergmischwaldbereich – Eine Triangulatorische Betrachtung	261
7	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	274
7.1	Ausblick für die Praxis	274
7.2	Neue Forschungsfragen	275
8	Zusammenfassung/Summary	277
9	Literaturverzeichnis	287
10	Anhang	I
11	Abbildungsverzeichnis	XXII
12	Tabellenverzeichnis	XXV

1 Einleitung

Die Geschichte des Bergwaldes in den Alpen ist zugleich eine Geschichte des Menschen, der ihn für sich nutzbar machte. Über Jahrhunderte hinweg musste der Gebirgswald ganz verschiedenen menschlichen Ansprüchen genügen. Er wurde für die Waldweide genutzt, für die Jagd und zur Streugewinnung. Daneben war er unverzichtbar für die Brennholzversorgung, nicht nur der ansässigen Bevölkerung, sondern während der Zeit der Salinen auch für die Versorgung eines ganzen Industriezweiges (SCHMIDT 2002, ZIERHUT, 2003, JOHANN et al. 2004, MOSANDL 2007). Auf der anderen Seite musste der Bergwald von je her wichtige Schutzfunktionen wie Bodenschutz, Lawinenschutz und Wasserschutz erfüllen.

In vielen Fällen verändert die Nutzung durch den Menschen jedoch die Struktur und Zusammensetzung des Waldes dahingehend, dass er an Schutzbefähigung verliert (AMMER 1990, MOTTA und HAUDEMANN 2000). Ein besonders bedeutendes Beispiel dafür stellen reine oder nahezu reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone dar. Den Untersuchungen von ZIERHUT (2003) in den Traunsteiner Salinenwäldern zufolge ist allein während der Salinenzeit der Fichtenanteil in natürlichen Bergmischwaldgebieten von vormals 37% auf über 67% angestiegen. Reparationshiebe nach den Weltkriegen und über lange Zeit deutlich überhöhte Wildbestände mit selektivem Verbißdruck auf Mischbaumarten begünstigten die Fichte zusätzlich (BERNHART 1988, 1990, SUDA 1990, HASEL und SCHWARTZ 2002). JAKOBI (1989) weist beispielsweise anhand von Operaten des Bayerischen Forstamtes Ruhpolding einen Rückgang des Tannenanteils in den Jahren 1852 bis 1979 in diesem Gebiet von 23-26% auf lediglich 8% nach. Das Bestreben, kahle Flächen möglichst schnell und effektiv wieder aufzuforsten, sorgte außerdem dafür, dass Fichtenbestände oft auch künstlich begründet wurden (SPIECKER 2003, JOHANN et al. 2004). Auch PECHMANN (1932), v. BÜLOW (1962) und MOSANDL (1984) berichten von einer anthropogen bedingten Mischungsänderung zu Gunsten der Fichte im Bayerischen Alpenraum.

Auf diese Weise entstanden in der Bergmischwaldstufe der Bayerischen Alpen auf größeren Flächen Fichtenreinbestände. Eine Auswertung von Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung (Stand 2004) im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ergab fast 30.000 ha reine Fichtenbestände im Wuchsgebiet 15 „Bayerische Alpen“ (HÖLLERL 2006). Die 1861 vom Bayerischen Forstbüro formulierte Zielsetzung „Die Erhaltung beziehungsweise Erziehung von Mischbeständen aus Fichten, Tannen und Buchen, welche den Schnee-, Duft- und Windbrüchen sowie anderen nachtheiligen Einflüssen (Insectenbeschädigungen) erfolg-

reicherem Widerstand leisten als reine Fichtenbestände, gilt als oberster Grundsatz.“ (zit. n. BURSCHEL et al. 1990), konnte offensichtlich auf größeren Flächen nicht verwirklicht werden.

Aber auch in vielen anderen Europäischen Ländern wie beispielsweise Österreich (JOHANN 2002, JOHANN et al. 2004), der Schweiz (OTT et al. 1997, BRANG 2001, WEHRLI et al. 2007) oder Slowenien (DIACI 2002) ist das Problem anthropogen verursachter Fichtenbestände im Gebirge bekannt. Beurteilt man die entstandenen Fichtenbestände hinsichtlich ihrer Stabilität nach den Vorgaben des SCHWEIZERISCHEN ARBEITSKREIS FÜR FORSTEINRICHTUNG (OTT und SCHÖNBÄCHLER 1986), dem Schema zur Abschätzung des Sturmrisikos von ROTTMANN (1986), den Kriterien von MAYER UND OTT (1991) oder neueren Ansätzen wie bei FREHNER et al. (2005), oder BAIER et al. (2007b), so ergibt sich jedes Mal ein bedenkliches Bild: Die Bestände werden als instabil eingestuft, da es sich in den meisten Fällen um einschichtige, unstrukturierte Bestände mit hohen h/d-Werten und geringen Kronenlängen handelt. Hinzu kommt, dass die Bestände in vielen Bereichen durch schälendes Rotwild vorgeschädigt sind. Im Zuge des Klimawandels wird die Vitalität der Fichten in einigen Bereichen des Bergmischwaldes zusätzlich geschwächt werden (BINDER 2007a, 2007b, HILDEBRANDT 2007). Besonders nachteilig ist auch die Tatsache, dass die Fichtenbestände oft nicht oder nur schwach durchforstet wurden. Aufgrund der dichten Überschirmung fehlt deshalb in weiten Teilen eine Vorausverjüngung, die im Falle eines Schadereignisses für eine zügige Folgebestockung sorgen könnte. All diese Umstände sind vor allem deshalb als besonders kritisch einzustufen, weil viele dieser Bestände in Schutzwaldlagen stocken.

Die Frage, wie man solche Bestände im Hinblick auf die Verbesserung ihrer Stabilität behandelt, wird von der forstlichen Praxis unterschiedlich beantwortet. Die Optionen reichen hier von „Nichts tun“ über Eingriffe zur Stabilisierung der Altbestände bis hin zu starken Umbaumaßnahmen mit dem Ziel einer stabileren Folgebestockung. Das Schutzwaldmanagement ist insofern oft heute noch eine Art „Trial and Error“, weil die Konsequenzen von Eingriffen in diese Ökosysteme noch zu wenig bekannt sind (DORREN et al. 2004).

Sucht man im Bereich der Wissenschaft nach Antworten auf die Frage der richtigen Bewirtschaftung, so muss man feststellen, dass derartige Bestände trotz ihrer flächenmäßigen Bedeutung bisher mit wenigen Ausnahmen (DIACI 2002) nicht im Fokus der Forschung standen. Im Bereich des Bergmischwaldes gibt es eine Reihe von intensiven Forschungen – gerade der Lehrstuhl für Waldbau der TU München kann hier auf eine über dreißigjährige Forschungstätigkeit zurückblicken. Hierbei wurden sowohl Aspekte der Altbestandsentwicklung als auch Aspekte der künstlichen und natürlichen Verjüngung untersucht. Stellvertretend für eine Vielzahl von Veröffentlichungen seien hier die Arbeiten von MOSANDL (1984, 1991),

BURSCHEL et al. (1985, 1990, 1992, 1993), EL KATEB (1991), BRUNNER (1993), AMMER (1996a), und SCHALL (1998) genannt. Aus diesen Arbeiten lassen sich zwar wertvolle Erkenntnisse entnehmen und wichtige Schlußfolgerungen ziehen, aber hier wurden Bestände untersucht, die von vornherein eine der Bergmischwaldstufe angemessene Mischung aufwiesen.

Außer der Vielzahl von allgemeinen Forschungen zur Stabilität in Fichtenbeständen (MITSCHERLICH 1974, ROTTMAN 1986, MARSCH 1989a, 1989b, NIELSEN 1990, KÖNIG 1995, GARDINER et al. 1997, PELTOLA et al. 1997, VALINGER und FRIDMANN 1997, 1999, SCHÜTZ et al. 2006, SCHMIDT et al. 2006) sind auch im Bereich der reinen Fichtenbestände des Gebirges fundierte Untersuchungen entstanden (KUOCH 1972, OTT und SCHÖNBÄCHLER 1986, ZELLER 1982, OTT et al. 1997, MOTTA und HAUDEMAMAND 2000, BACHOFEN und ZINGG 2005). Allerdings wurden hier in aller Regel Fichtenbestände der subalpinen Stufe betrachtet, wo ein hoher Fichtenanteil auch natürlicherweise anzutreffen wäre, nicht aber anthropogen verursachte Fichtenwälder in der Bergmischwaldstufe. Reine Fichtenbestände mit hoher Bestandesdichte in der montanen Zone werden also nach wie vor unter den Rubriken „Wissenslücken“ und „Dringender Forschungsbedarf“ geführt (KRÄUCHI et al 2000).

Neben der Frage der Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität (Resistenz und Elastizität) spielt im Gebirgswald auch die Frage der Wirtschaftlichkeit eine erhebliche Rolle: Waldbauliche Maßnahmen im Gebirge sind in der Regel mit deutlich höheren Kosten belastet als vergleichbare Maßnahmen im Flachland (STAMPFER 2002, NORDFJELL et al. 2004). Dies gilt sowohl für Durchforstungsmaßnahmen, als auch für Maßnahmen zur Verjüngung der Bestände. In vielen Fällen resultieren finanzielle Defizite bei Durchführung dieser Maßnahmen und somit taucht sofort die Frage auf, ob diese gerechtfertigt sind. Auch eine vordergründig defizitäre Maßnahme kann jedoch rentabel sein, wenn sich dadurch andere Vorteile ergeben. KNOKE (1998b) hat stabilisierende Eingriffe in Fichtenbeständen (allerdings im Flachland) anhand von Versuchsdaten im Vergleich zu einer undurchforsteten Variante ökonomisch bewertet. Bei dieser Untersuchung ergab sich allein schon durch die frühzeitigen Einzahlungen aufgrund der Vornutzungen ein finanzieller Vorteil auf Seiten der Nutzungsvarianten. Wenn die Vornutzungen aber zum Teil defizitär ausfallen, müssen andere Aspekte wie beispielsweise eine mögliche Verringerung des Risikos von Kalamitäten quantifiziert werden. Zur Quantifizierung des Risikos von Sturmwurf, Schneebruch und auch Insektenschäden gibt es eine Vielzahl von Ansätzen (MÖHRING 1986, KÖNIG 1995, 1996, 1999, DIETER 1997, BRÄUNIG und DIETER 1999, DIETER 2001, KOUBA 2002, HOLTHAUSEN et al. 2004, BEINHOFER 2007, 2008, KNOKE und SEIFERT 2008). Jedoch wurden auch diese Ansätze noch nicht auf die spezielle Situation im Gebirge übertragen.

Auch die Begründung und Bewirtschaftung von Mischbeständen anstelle von reinen Fichtenbeständen steht in letzter Zeit mehr und mehr im Fokus ökonomischer Betrachtungen (PLUSCZYK 2000, KNOKE und PLUSCZYK 2001, KNOKE et al. 2001, HANEWINKEL 2004, KNOKE 2004, KNOKE et al. 2005, HANEWINKEL 2006, KNOKE und WURM 2006, KNOKE und HAHN 2007, KNOKE und SEIFERT 2008, KNOKE et al. 2008). So erfährt die Idee Karl GAYERS (1886) vom gemischten Wald, der gegenüber künftigen Unsicherheiten und finanziellen Risiken gewappnet ist, auch im ökonomischen Bereich eine Renaissance (KNOKE et al. 2005).

Generell ist der Umbau von Reinbeständen samt seiner finanziellen Konsequenzen in Deutschland und Europa in den letzten Jahren zu einem äußerst wichtigen Thema geworden (KLIMO et al. 2000, BUONGIORNO 2001, KENK und GUEHNE 2001, SPIECKER et al. 2004, HANSEN 2004, TEUFFEL et al. 2005, FRITZ 2006, KNOKE et al. 2008) und gerade im Gebirge ist dieses Thema von erheblicher Bedeutung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für Fichtenreinbestände des Bergwaldes eine umfassende integrative Forschungskonzeption fehlt, aus der eine fundierte Entscheidungsunterstützung abgeleitet werden kann. Ziel dieser Arbeit war es daher, eine solche Konzeption zu entwickeln und beispielhaft für den bayerischen Alpenraum umzusetzen.

Zur Beantwortung der drängenden Fragen nach den geeigneten waldbaulichen Maßnahmen und einer ökonomischen Bewertung in den Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe wurde ein dreistufiger Ansatz verfolgt:

Stufe 1: In einem ersten Schritt wurden die Expertenmeinungen von Forstpraktikern verschiedener Bereiche zu Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe eingeholt. In strukturierten Interviews wurde sowohl die Einschätzung zur Gefährdung der Bestände abgefragt, als auch die Meinung zu geeigneten Behandlungsstrategien.

Stufe 2: In einem zweiten Schritt wurden anhand von konkreten Waldbeständen die Effekte von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität geprüft. Eine an diesen behandelten und unbehandelten Fichtenbeständen durchgeführte retrospektive Untersuchung erlaubte den Vergleich hinsichtlich deren Stabilität, ausgedrückt durch ihre Resistenz und Elastizität (zur Definition von Stabilität, Resistenz und Elastizität siehe Kap. 2). Die Schwierigkeit bestand darin, dass hierbei nicht auf langfristig beobachtete Versuchsflächen zurückgegriffen werden konnte. Es mussten also Bestände gefunden werden, in die vor geraumer Zeit eingegriffen wurde und die sich ceteris paribus nur durch die getätigten Maßnahmen voneinander unterscheiden.

Die Hypothesen für diesen Teil der Arbeit lauteten:

1. *H₀: Behandelte und unbehandelte Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe unterscheiden sich hinsichtlich der Resistenz des Altbestandes nicht.*
2. *H₀: Behandelte und unbehandelte Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Vorausverjüngung (als Maß für die Elastizität) nicht.*

Stufe 3: Die aus Stufe 1 und Stufe 2 abgeleiteten Handlungsoptionen wurden in einem dritten Schritt auf ihre finanziellen Auswirkungen hin untersucht. Hierbei wurde folgende Hypothese zu Grunde gelegt:

3. *H₀: Vornutzungseingriffe in Fichtenreinbestände der Bergmischwaldzone sind finanziell nicht vorteilhaft.*

Zur Bandbreite der möglichen waldbaulichen Maßnahmen in diesen Beständen gehören auch Eingriffe der Jungbestandspflege. Diese bringen immer frühe Auszahlungen ohne einen direkten Gegenwert mit sich und sind somit auf den ersten Blick nicht rentabel. Theoretisch besteht aber die Möglichkeit, dass derartige Maßnahmen einen Stabilisierungseffekt mit sich bringen, welcher die frühen Auszahlungen aufwiegt. In einem explorativen Teil der finanziellen Untersuchung wurde deshalb noch folgender Frage nachgegangen:

4. *Um wie weit müsste die Überlebenswahrscheinlichkeit eines reinen Fichtenbestandes durch eine Jungbestandspflege erhöht werden, damit der Stabilitätsgewinn die hierzu notwendigen frühen Auszahlungen aufwiegt?*

Die Arbeit ist folgendermaßen gegliedert:

Das auf die Einleitung folgende Kapitel 2 enthält die Darstellung des aktuellen Wissenstandes auf dem Gebiet reiner Fichtenbestände im Gebirge und eine genauere Erläuterung des Forschungsansatzes. Es bildet gewissermaßen den Rahmen für die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen, die entsprechend den genannten Forschungsschritten in drei eigenen Kapiteln (Kap. 3-5) behandelt werden. In diesen werden auch die wichtigsten Ergebnisse bereits diskutiert. Im Kap. 6 wird der Rahmen wieder aufgenommen und es werden die gewonnenen Erkenntnisse in ihrer Gesamtheit diskutiert, in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet und daraus wichtige waldbauliche Schlussfolgerungen gezogen. Auf einen kurzen Ausblick mit einigen skizzierten zukünftigen Forschungsfragen (Kap. 7) folgt schließlich die Zusammenfassung der Arbeit (Kap. 8).

2 Stand des Wissens und Forschungsansatz

2.1 Resistenz, Resilienz und Elastizität als Aspekte von Stabilität

Im Folgenden sollen der Begriff „Stabilität von Waldbeständen“ – in erster Linie von Fichtenbeständen – etwas genauer beleuchtet werden und einzelne Aspekte dieses Begriffes herausgearbeitet werden. Auf dieser Grundlage werden später die unterschiedlichen Fichtenbestände hinsichtlich ihrer Stabilität eingewertet. Aspekte der Stoffflüsse, wie sie bei ULRICH (1981) und OTTO (1994) in Ansatz gebracht werden, sollen hier außer Acht gelassen werden.

Nachdem es sich bei Ökosystemen um dynamische Systeme handelt, kann Stabilität nicht verstanden werden als „Konstanz“. Ein solches Fehlen jeglicher Veränderung kann es in Ökosystemen – wenn überhaupt – nur für sehr kurze Zeiträume geben (RÖHRIG und BARTSCH 1992, RÖHRIG et al. 2006). Vielmehr muss in Ökosystemen von Gleichgewichtszuständen ausgegangen werden, die um Mittelwerte schwanken.

THOMASIVS (1988a, S. 1037) beschreibt Stabilität als „...die Fähigkeit eines dynamischen Systems, bei außergewöhnlichen Einwirkungen im Gleichgewichtszustand zu verharren (Stressbereich) oder nach dem Abklingen dieser außergewöhnlichen Einwirkungen in den zeitweilig verloren gegangenen Gleichgewichtszustand wieder zurückzukehren.“ Die beiden in der Definition von Thomasius enthaltenen Aspekte von Stabilität werden in der Literatur zur Ökologie oft getrennt betrachtet. Das Verharren im Gleichgewichtszustand trotz der Anwesenheit von Störungen wird bezeichnet als *Resistenz* (BEGON et al. 1991, TREPL 2005):

Resistance = „Staying essentially unchanged despite the presence of disturbances“ (GRIMM und WISSEL 1997, S. 325).

Für den Umstand, dass ein System nach Auftreten einer Störung und einer Veränderung des Systemzustandes in ein Ausgangsgleichgewicht zurückkehrt, werden zwei verschiedene Begriffe verwendet: *Resilienz (Resilience)* (BEGON et al. 2006, TREPL 2005, RÖHRIG 2006) und *Elastizität (Elasticity)* (GIGON 1984, BEGON et al 1991, OTTO 1994, THOMASIVS 1996, BRANG 2001, BRANG et al. 2004, KIMMINS 2004). Wobei Resilienz oft als die grundsätzliche Fähigkeit eines Systems zur Rückkehr in den Ausgangszustand verstanden wird, während Elastizität noch die Geschwindigkeit mit einbezieht, in der die Rückkehr abläuft (OTTO 1994, GRIMM und WISSEL 1997).

Elasticity = "Speed of return to the reference state (or dynamic) after a temporary disturbance" (GRIMM und WISSEL 1997, S. 326).

2.2 Übertragung der Aspekte auf die Stabilität von Fichtenbeständen in Schutzwäldern

Den zeitlichen Aspekt außer Acht gelassen, sind die meisten Bergwälder nach Zusammenbruch grundsätzlich zu einer Wiederbewaldung fähig. Die Resilienz ist also weitgehend unproblematisch (BRANG et al. 2004). In Bergwaldbeständen, die oft eine Schutzfunktion erfüllen, ist der zeitliche Faktor aber ein entscheidender. Gegebenenfalls ist die Geschwindigkeit der Rückkehr in den Ausgangszustand so langsam, dass teure künstliche Maßnahmen unumgänglich werden. Insofern ist für das Untersuchungsobjekt Fichtenreinbestände in der Bergmischwaldzone der Begriff der Elastizität zu wählen, welcher die Rückkehrgeschwindigkeit in den Ausgangszustand impliziert. Diese findet ihren Ausdruck in der Vorausverjüngung der Bestände. Der Aspekt der Resistenz ist vor allem für den Bereich des Altbestandes in den Fichtenbeständen bestimmend.

Für die Untersuchung der Wirksamkeit von waldbaulichen Maßnahmen hinsichtlich der Stabilität in Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe müssen also sowohl *Resistenz der Altbestände* als auch *Elastizität aufgrund von Verjüngung* in Betracht gezogen werden. Laut GIGON (1984) genügt bereits einer der beiden Aspekte, um von Stabilität sprechen zu können. Diese Aussage trifft auf Schutzwälder nicht zu. Richtet man die Bewirtschaftung beispielsweise nur auf die Resistenz aus und berücksichtigt die Elastizität nicht, dann wird man zu lange einen geschlossenen Bestand erhalten, in dem sich keine Verjüngung etablieren kann (WEHRLI et al. 2007). Wird dann aber der Punkt erreicht, an dem eine Kalamität die Resistenz dennoch überwindet, ist schlagartig überhaupt keine Stabilität mehr vorhanden. Der optimale Zustand liegt also weder bei maximaler Resistenz noch bei maximaler Elastizität (HÖLLERL und MOSANDL 2008a, 2008b).

Idealerweise wird es so sein, dass sich im Laufe des Bestandeslebens der Schwerpunkt mehr und mehr vom Aspekt Resistenz hin zum Aspekt Elastizität verlagert, bis wiederum ein geschlossener Bestand entstanden ist, der wieder mehr Gewicht auf der Resistenz hat usw. Abb. 2.1 verdeutlicht diesen Kreislauf.

Im besten Fall, so FÜHRER (2000), ergibt sich in einem Ökosystem ein Mosaik aus kleineren Feldern, die sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden und als Ganzes gesehen eine Art „Steady-state“ bilden. Laut DORREN et al. (2004) ist dieser Status hinsichtlich der Schutzfunktion zwar kurzfristig gesehen etwas unter dem Optimalstatus, bietet aber langfristig gesehen die größtmögliche Schutzbefähigung.

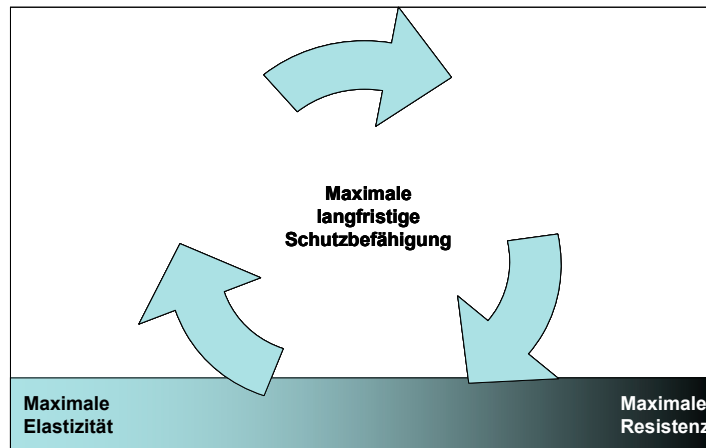


Abb. 2.1: Maximale Schutzfähigkeit im Spannungsfeld zwischen maximaler Resistenz und maximaler Elastizität.

2.3 Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe

2.3.1 Entstehung der Bestände und aktuelle Situation

Als Bergmischwaldstufe in den bayerischen Alpen bezeichnet man die Bereiche zwischen montaner und hochmontaner (orealer) Höhenstufe, in denen der Wald im Wesentlichen von den drei Hauptbaumarten Buche, Tanne und Fichte dominiert wird (MAYER und OTT 1991, FISCHER 1995, BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2001b). Weitere beigemischte Baumarten sind u.a. Bergahorn, Bergulme, Esche, Mehlbeere und Vogelbeere. Die exakte Höhenlage der Höhenstufen wird durch die geographische Lage und die Ausdehnung und Höhe des Gebirges beeinflusst (FISCHER 1995). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird dies jedoch außer Acht gelassen und der Bereich des Bergmischwaldes auf etwa 700-1400 m NN eingegrenzt.

Je nach Substrat, Baumartenkombination und Wasserhaushaltsstufe scheidet man innerhalb des Bergmischwaldes unterschiedliche natürliche Waldgesellschaften aus (HARTMANN 1956, EWALD 1997, EWALD 1999, WALENTOWSKI et al. 2004, BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2001b). In weiten Bereichen des Wuchsgebietes 15 „Bayerische Alpen“ finden wir heute allerdings anstelle der natürlichen Bergmischwälder anthropogen begründete Fichtenwälder. Der Nomenklatur von TÜXEN (1956) folgend, kann man die Gesellschaft dieser Bestände als „Forstgesellschaft“ bezeichnen. Im Gegensatz zur „natürlichen Waldgesellschaft“ bezeichnet dieser Ausdruck Ersatzgesellschaften, die aus der Anpflanzung von mehr oder weniger gesellschaftsfremden Baumarten hervorgingen (ELLENBERG 1996). Nachdem die Fichte natürlicherweise grundsätzlich im Bergmischwald vorkommt, allerdings der

meist einschichtige Reinbestand durchaus naturfern ist, können die Fichtenreinbestände auf Tüxens Skala von 1 bis 4 als Ersatzgesellschaft 2. Grades eingestuft werden.

Die Entstehung der reinen Fichtenbestände hat verschiedene anthropogene Ursachen (PECHMANN 1932, HASEL und SCHWARTZ 2002, SCHMIDT 2002, ZIERHUT 2003, HANSEN 2004, JOHANN et al. 2004, BAIER et al. 2007a): Zum einen wurden die Wälder während der Zeit der Salinen intensiv genutzt. Dabei entstanden oft Kahlfelder, auf denen sich die Fichte leichter wieder angesiedelt hat als die spätfrostgefährdete und mit den schweren Samen schlecht bewegliche Buche (FISCHER 1995). Nachdem für die Beheizung der Sudpfannen in den Salinen nur das Fichten- und Tannenholz mit seiner leichten und flammenden Hitze geeignet war, wurde die Fichte zusätzlich aktiv gefördert und die Buche gezielt zurückgedrängt (THÜRMER 1954, v. BÜLOW 1962). Auch beim Triften war die Buche weniger geeignet, da es aufgrund des höheren Gewichtes zu größeren Sinkverlusten kam. Nicht nur als Brennholz, sondern auch als Kufholz und Reifholz zum Bau von Salzfässern wurden große Mengen Fichtenholz benötigt (ZIERHUT 2003). Generell sorgte der große Holzbedarf dafür, dass man mit der Fichte eine Baumart anbaute, die leicht zu handhaben und wenig verbissgefährdet war und großen Masenertrag versprach (SPIECKER 2003)². Sowohl der Aufwuchs unter gleichmäßigem Freiflächenklima als auch die regelmäßigen Pflanzungen führten dazu, dass sich die Fichtenbestände besonders homogen und unstrukturiert entwickelten (OTT et al. 1997).

Zum anderen waren die Wälder über lange Zeit einer massiven Weidenutzung ausgesetzt, welche die Fichte zu Lasten der Laubhölzer begünstigte (KÖNIGER et al. 2005). Die früher praktizierte Ziegenweide setzte den Mischbaumarten besonders zu (OTT et al. 1997). Dazu kamen vor allem seit den Zeiten der Hofjagd deutlich überhöhte Wildbestände, die für einen selektiven Verbiß von Tanne und Laubhölzern sorgten (BERNHART 1988, 1990, SUDA 1990). Die Auswirkungen des Wildverbisses sind LISS (1987, 1988a, 1988b, 1989, 1990) zufolge noch wesentlich gravierender einzustufen als die der Beweidung durch Rinder. SAUTER (2002) beschreibt die Baumartenzusammensetzung im Bayerischen Staatswald 1985 nach Inventurdaten folgendermaßen: „In Beständen, die ab dem ausgehenden 19. Jahrhundert geboren wurden, steigt der Fichtenanteil spürbar an. Die Mischbaumarten geraten gleichzeitig ins Hintertreffen. Die Tanne gerät mit weniger als 1% an den Rand des Aussterbens.“ (vgl. auch BERNHART 1988). Laut AMMER (1989, 1990) hat sich der Anteil von Fichte im Bergwald des

² Dabei darf unser Urteil über die Altvorderen, welche die Fichtenbestände begründeten, nicht zu streng ausfallen. Die produktiven Nadelwälder wurden vor allem aufgrund von Holzknappheit begründet (SCHMIDT 2002, SPIECKER 2003, ZIERHUT 2003). Die Versorgung wurde somit gesichert und waldfreie Gebirge mit massiven Erosionsproblemen, wie es sie in anderen Ländern gibt, wurden vermieden.

bayerischen Hochgebirges im Zeitraum von vor 1850 bis 1985 von 40% auf 70% erhöht, während die Tanne von 25% auf 6% und die Buche von 30% auf 17% zurückging. In den Forstämtern Fall, Mittenwald und Oberammergau entstanden über sechs Jahrzehnte lang auf 50-70% der verjüngten Flächen Fichtenreinbestände (BERNHART 1988).

Die genannten Fichtenreinbestände werden von den forstlichen Praktikern als sehr problematisch eingeschätzt (vgl. Kap. 3): Sie sind in der Regel einschichtig, wenig strukturreich, oft durch Rotwild vorgeschädigt und neigen deshalb zu erhöhter Schadanfälligkeit. Nachdem diese Bestände häufig nicht oder nur schwach durchforstet wurden, fehlt in weiten Teilen auch eine Vorausverjüngung, die im Falle eines Schadereignisses für eine zügige Folgebestockung sorgen könnte. Einen speziellen Problemfall stellen flachgründige kalkalpine Standorte dar, die bei mangelnder oder falscher Bestockung zur Degradation neigen. Hier können in der Folgebestockung oft nur noch Pionierarten eingebracht werden, bis sich wieder genügend Humus akkumuliert hat (BAIER und GÖTTLEIN 2006a, 2006b).

Im Rahmen dieses Projektes wurden aus den Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung mit Stand 2004 die Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone selektiert. Dabei wählte man Inventurkreise aus, die einen Fichtenanteil von mindestens 90% aufwiesen. Es wurden Bestände bis 1400 m über NN berücksichtigt. Insgesamt ergaben sich für das Wuchsgebiet 15 fast 30.000 ha reiner Fichtenbestände (Abb. 2.2) (HÖLLERL 2006). Dabei ist davon auszugehen, dass es sich zum überwiegenden Teil um gleichaltrige, homogene und einschichtige Bestände handelt. Ein großer Teil der Bestände weist in der Datenbank explizit das zusätzliche Kriterium „einschichtig“ auf. Daraus kann aber nicht geschlossen werden, dass die restlichen Bestände eine bessere Struktur aufweisen: nachdem z.T. ganze Forstamtsbereiche ohne das Kriterium „ungeschichtet“ aufgenommen waren, haben hier die Inventurtrupps vermutlich generell darauf verzichtet, die Einschichtigkeit explizit zu dokumentieren.

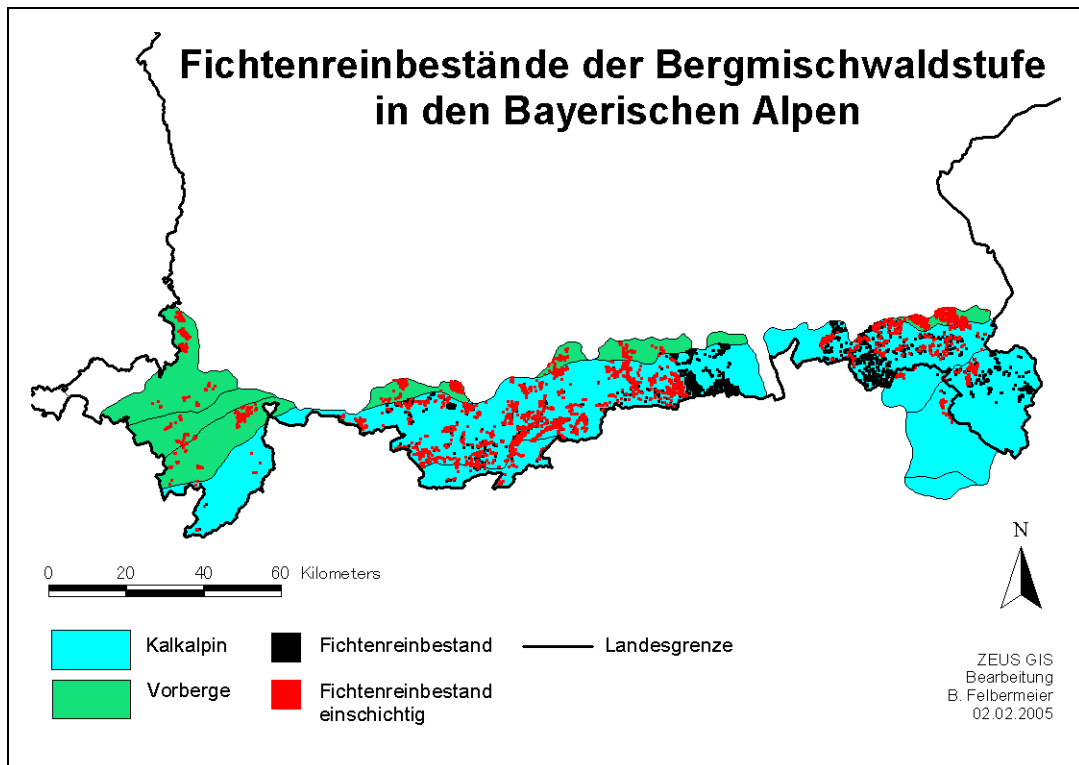


Abb. 2.2: Bestände in den Bayerischen Alpen mit einem Fichtenanteil von mindestens 90%. Höhe max. 1400 m über NN. Gesamtfläche: 28.462 ha.

Abb. 2.3 zeigt die Verteilung der Bestände aufgeschlüsselt auf 20 jährige Altersklassen. Die größten Flächenanteile befinden sich in den Altersklassen III-V (also 40-100 Jahre) und damit in einem Bereich, wo wichtige waldbauliche Entscheidungen über die künftige Entwicklung dieser Bestände anstehen.

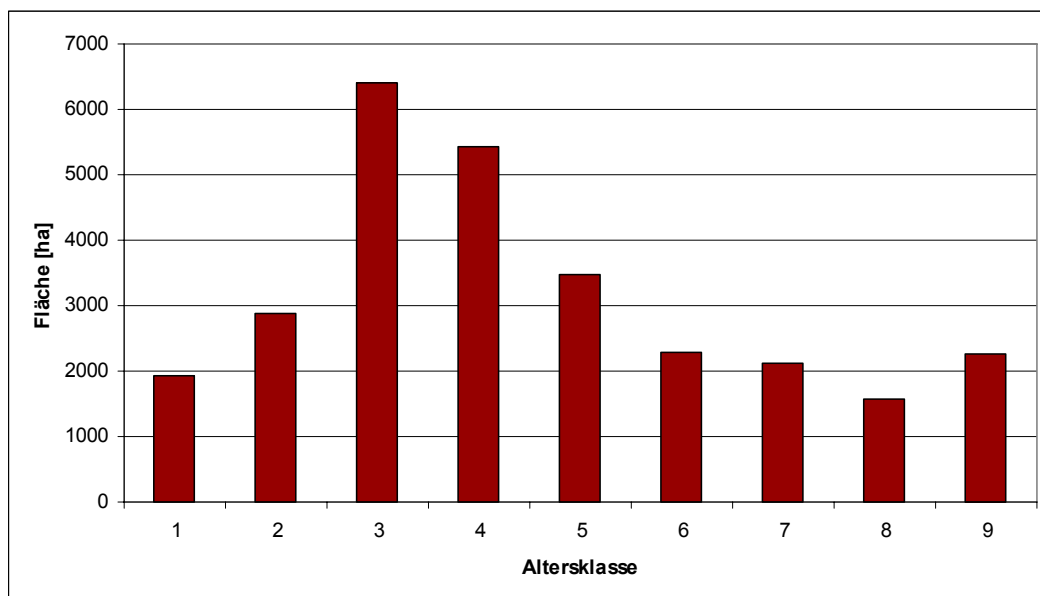


Abb. 2.3: Verteilung der Fichtenreinbestände (max. 10% Mischbaumarten) in der Bergmischwaldstufe nach 20 jährigen Altersklassen. Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung 2004.

Die Wichtigkeit dieser Entscheidungen wird umso deutlicher, wenn man die Bestände der Altersklassen III bis V nach ihrer Hangneigung sortiert (Abb. 2.4). Nachdem die Bestände vielfach in steilen Hanglagen stocken, muss davon ausgegangen werden, dass sie an vielen Stellen Schutzwaldstatus haben und ihre Schutzbefähigung gefährdet ist.

Insgesamt sind 58% der 250.000 ha umfassenden Waldfläche in den Bayerischen Alpen als Schutzwald ausgewiesen (SCHNELL und BAUER 2005, HILDEBRANDT 2007). Davon besitzen laut Waldfunktionenkartierung 100.000 ha Lawinenschutz (HILDEBRANDT 1999).

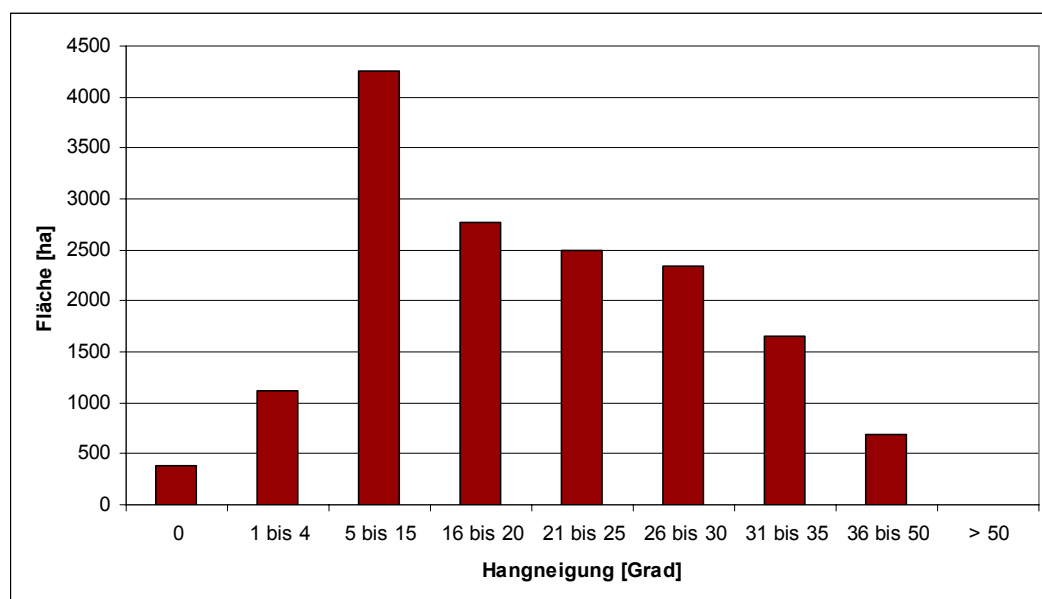


Abb. 2.4: Verteilung von Fichtenreinbeständen der Bergmischwaldstufe in den Altersstufen III-V nach der Hangneigung. Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung 2004

Auch in anderen europäischen Alpenregionen gibt es die Problematik reiner Fichtenbestände. So gelten beispielsweise 7% der Fichtenbestände in den Schweizer Alpen als uniform in Struktur und Alter (BRÄKER und BAUMANN 2002), wobei viele noch keinerlei waldbauliche Behandlung erfahren haben (WEHRLI et al. 2007). Die Entwicklungen, welche zu diesen einförmigen Fichtenbeständen in den Schweizer Alpen geführt haben, waren ähnliche wie in Deutschland (OTT et al. 1997, BRANG 2001). In Slowenien liegt der Anteil von Fichte mit 35% weit über einem geschätzten natürlichen Anteil von 8% – der größte Teil davon liegt in den slowenischen Alpen (DIACI 2002). Auch Österreich kennt das Problem anthropogen verursachter Fichtenreinbestände (JOHANN 2002, JOHANN et al. 2004).

2.3.2 Gefährdungen, Stabilitätsanforderungen und Stabilitätsbeurteilung

Forschungen in Urwäldern haben ergeben, dass beispielsweise natürliche subalpine Nadelwälder durchaus von sich aus stabil sind. Durch extreme Witterung und Belastungen entwickeln sich Rottenstrukturen und eine natürliche Ungleichaltrigkeit mit kleinflächiger Walderneuerung (KORPEL 1995). OTT et al. (1997) unterscheiden diese Standorte aber deutlich von hochmontanen Standorten mit natürlichen Stabilitätsrisiken. Hier können sich die Bestände lückenlos verjüngen, wachsen in gegenseitiger Konkurrenz heran und bilden ein eher einschichtiges Kronendach heraus. Instabile Bestandesphasen sind Teil der natürlichen Entwicklung (KORPEL 1995), weshalb OTT et al. (1997) in diesen Bereichen eine Stabilitätspflege für unerlässlich halten. Es ist unmöglich, die Entwicklung eines Waldbestandes aufzuhalten. Deshalb bedarf es waldbaulicher Maßnahmen, welche an diese Entwicklung angepasst sind und darauf abzielen, die Integrität und Stabilität des Ökosystems zu erhalten (DORREN et al. 2004).

Waldbestände in der Bergmischwaldzone, speziell Fichtenreinbestände, sind unterschiedlichen Risiken ausgesetzt und daraus ergeben sich auch unterschiedliche Stabilitätsanforderungen. Es gibt Risikofaktoren, die primär das Fortbestehen des Waldbestandes bedrohen, wie Schneebruch, Windwurf und Insektenkalamitäten und andere Risikofaktoren, die direkte Bedrohungen für den Menschen oder für menschliche Einrichtungen sein können. Dies sind Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag, Rutschungen oder Hochwasser und Murgänge. Hinsichtlich Schutzwäldern unterscheiden FREHNER et al. (2005) in der Wegleitung³ „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald“ deshalb zweierlei Anforderungsprofile, die gemeinsam in die Beurteilung von Schutzwaldbeständen einfließen: die Anforderungen aufgrund des Standorttyps und die Anforderungen aufgrund von Naturgefahren. Gewisse Ähnlichkeiten hinsichtlich der Einteilung finden sich in der „Checkliste für Waldstabilität“ von LANGENEGGER (1979): Auch sie weist zwei Teile auf. Zum einen die „Checkliste Stabilitätsgrad“, in der die Punkte Baumarten, Bestandesgefüge, Bestandesvitalität, Bruch- und Standfestigkeit und Verjüngung geprüft werden und zum anderen die „Checkliste Schutzfunktionen“, in der das Gebiet auf diese Funktionen abgefragt wird. Das Verfahren wurde im Rahmen der Schweizerischen Arbeitsgemeinschaft für Forsteinrichtung (SAFE) noch weiterentwickelt (OTT und SCHÖNBÄCHLER 1986). Auch ZELLER (1982), MOTTA und HAUDEMANT (2000), die Schweizerische Landesforstinventur (HEROLD und ULMER 2001), LECLERC (2001) sowie SEITZ und AMMER (2000), AMMER et al. (2000) und darauf aufbauend BOCKSTAHLER (2006) und BAIER

³ Schweizerdeutsch für „Anleitung“.

et al. (2007b) haben solche Systeme zur Beurteilung von Schutzwäldern entwickelt, in die sowohl der Waldzustand und damit das Potential zur Schutzerfüllung als auch die vorliegenden Risikofaktoren eingehen. Das Resultat ist eine Reihung, in der die Bestände entsprechend der Dringlichkeit der waldbaulichen Behandlungen geordnet werden. Tab. 2.1 enthält die wichtigsten von den Autoren verwendeten Kriterien zur Beurteilung von Stabilität und Schutzbefähigung.

Tab. 2.1: Die wichtigsten Kriterien zur Beurteilung von Stabilität und Schutzbefähigung

Kategorie	Unterkategorie	Kriterien
Standörtliche Voraussetzungen		Geologie, Boden Potenzielle Natürliche Vegetation
Naturgefahren/ Schutzfunktionen		Lawinen- und Schneegefahren Steinschlaggefahr Wassergefahren (Erosion, Rutschungen, Wildbäche)
Resistenz	Bestandesentwicklung	Entstehung, bisherige Behandlung
	Struktur	Vertikalstruktur Horizontalverteilung Dichte
	Hauptbestand/Gerüstbäume	Baumarten, Mischungsanteile Schlankheitsgrad Kronenlänge und -form Stand, Verankerung Vitalität Schäden und Krankheiten
Elastizität	Verjüngung	Dichte, Vitalität Baumarten, Mischungsanteile Keimbett, positive Kleinstandorte Konkurrenzvegetation Verbiß, Schäden

In Tab. 2.2 und Tab. 2.3 sind in Anlehnung an FREHNER et al. (2005) und HILDEBRANDT (1999) die Anforderungen zusammengestellt, welche Schutzwälder in der Bergmischwaldstufe erfüllen sollten, um eine gute Schutzwirkung zu gewährleisten. Aus den sehr detaillierten Anforderungstabellen „Aufgrund des Standortstyps“ von FREHNER et al. (2005) wurde beispielhaft eine Tabelle für eher wüchsigeren Tannen-Buchenwälder der obermontanen Stufe herangezogen. Die Anforderungen stimmen aber weitgehend mit denen von weniger wüchsigen Tannen-Buchenwäldern und auch denen von Buchenwäldern der untermontanen Stufe überein. Dort sind lediglich die Mindestwerte zur Baumartenmischung etwas mehr in Richtung der Laubhölzer verschoben.

Tab. 2.2: Anforderungen an Schutzwälder in der Bergmischwaldzone aufgrund Standortstyp (n. FREHNER et al. 2005, erweitert) und waldbauliche Beeinflussbarkeit. Die Anforderungen hinsichtlich Mischung gelten für obermontane Ta-Bu-Wälder. Bei untermontanen Bu-Wäldern ist der Laubholzanteil etwas höher.

Bestandes- und Einzelbaummerkmale	Anforderung minimal	Anforderung ideal	Waldbauliche Beeinflussbarkeit
Mischung Art und Grad	Bu 30-80% Ta 10-60% Fi 0-30% Bah Samenbäume -60% Rutschung: Ta 20-60% Lawinen: Immergrüne Ndb 30-70%	Bu 40-60% Ta 30-50% Fi 0-20% BAh, Es 10-30%	In geringem Umfang durch Mischungsregulierung in frühen Stadien sonst nur über Verjüngung und Folgebestand
Gefüge: BHD-Streuung	Genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 2 verschiedenen Durchmesserklassen*) pro ha	Genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 3 verschiedenen Durchmesserklassen*) pro ha	über Durchforstungen in begrenztem Umfang möglich
Horizontal	Einzelbäume, allenfalls Kleinkollektive	Einzelbäume, allenfalls Kleinkollektive, Schlußgrad locker	über Durchforstungen möglich
Stabilitätsträger Kronen	Kronen: Ta mind. 2/3, Fi mind. 1/2	Kronenlänge mind. 2/3	Kronenlänge und Schlankeitsgrad über Durchforstungen
Schlankeitsgrad	H/D: < 80	H/D: < 70	in begrenztem Umfang beeinflussbar
Stand/Verankerung	Lotrechte Stämme mit guter Verankerung, nur vereinzelt starke Hänger	Lotrechte Stämme mit guter Verankerung, keine starken Hänger	Rotfäule durch pflegliche Holzernte
Rotfäule	möglichst keine Rotfäule	Keine Rotfäule	
Vitalität	keine gravier. Verlichtungen	durchwegs vital	
Verjüngung Keimbett	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz <1/3	Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz <1/4	Über rechtzeitige Verjüngungseingriffe erreichbar, sofern Wildstand angepasst Bei fehlenden Samenbäumen künstliche Begründung nötig
Anwuchs (10-40 cm)	Bei Deckungsgrad <0,6 mind. 10 Buchen/ Tannen pro a In Lücken ggf. BAh	Bei Deckungsgrad <0,6 mind. 50 Buchen/ Tannen pro a In Lücken ggf. BAh	
Aufwuchs (40 cm Höhe bis 12 cm BHD)	mind. 1 Trupp/ha oder Deckungsgrad mind 4% Mischung zielgerecht	mind. 3 Trupps/ha oder Deckungsgrad mind 7% Mischung zielgerecht	
*) Durchmesserklassen: BHD <12 cm; BHD 12-30 cm; BHD 31-50 cm; BHD >50 cm			

Tab. 2.3: Anforderungen an Schutzwälder in der Bergmischwaldzone aufgrund von Naturgefahren (n. HILDEBRANDT 1999, FREHNER et al. 2005, erweitert). Voraussetzung: Minimale Anforderung aufgrund des Standortstyps erfüllt.

Risikofaktoren	Bestandes- und Einzelbaummerkmale	Anforderung minimal	Anforderung ideal	Waldbauliche Beeinflussbarkeit
Lawinen	Gefüge horizontal	> 35° > 40° > 45° bei größerer Lückenzlänge muß Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % mind. 300-400 gesunde Nadelbäume, gleichm. verteilt	Hangneigung – Lückenzlänge in Falllinie kleiner als 50 m kleiner als 40 m kleiner als 30 m bei größerer Lückenzlänge muß Lückenbreite < 5 m sein Deckungsgrad > 50 % mind. 400 gesunde Nadelbäume, gleichm. verteilt	Bei Verjüngung der Bestände zulässige Lückengröße nicht überschreiten Möglichst langfristiger Verjüngungsgang
		Gefüge vertikal	Mehrschichtiger Bestandaufbau mit mögl. dichter Verjüngung	Langfristig durch langfristigen Verjüngungsgang und gezielte Strukturdurchforstung
Rutschungen, Erosion, Murgänge	Baumarten	Laubholz, Lärche max. 30%		
	Gefüge horizontal	Deckungsgrad dauernd > 30-40 %	Deckungsgrad dauernd > 50-60 %	Möglichst langfristiger Verjüngungsgang
Steinschlag Steine bis 0,05 m ³ (Ø ca. 40cm) Steine bis 0,20 m ³ (-60 cm) Steine bis 5,00 m ³ (-180 cm)	Baumarten	Baumarten mit tiefgründiger und intensiver Durchwurzelung sehr wichtig: Tanne		Baumartenwechsel im Zuge der Verjüngung
	Gefüge horizontal	Mindestens 400 Bäume mit BHD > 12 cm Mindestens 300 Bäume mit BHD > 24 cm Mindestens 150 Bäume mit BHD > 36 cm	Mindestens 600 Bäume mit BHD > 12 cm Mindestens 400 Bäume mit BHD > 24 cm Mindestens 200 Bäume mit BHD > 36 cm	Resistenz des Bestandes möglichst erhöhen Hohe Stammzahlhaltung Möglichst langfristiger Verjüngungsgang
Wildbach, Hochwasser	Gefüge horizontal	Deckungsgrad dauernd > 50-60 %	Deckungsgrad dauernd > 50-70 %	Möglichst langfristiger Verjüngungsgang

Die Werte aus Tab. 2.3 finden in weiteren Untersuchungen zu Gebirgswäldern Bestätigung: TOCKHORN und RIESE (1986) verglichen beispielsweise verschiedene Untersuchungen hinsichtlich des Beschirmungsgrades in Schutzwäldern. Die Autoren dieser Untersuchungen sind der Meinung, dass Schutzwälder mit einem Beschirmungsgrad von weniger als 50% ihren Funktionen im Hinblick auf den Wasserhaushalt, Schneefixierung und die Verhinderung von Lawinen nur noch eingeschränkt gerecht werden können. Im Handbuch der Schutzwaldsanierung im bayerischen Alpenraum (BAY. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1997) wird sogar ein Beschirmungsgrad von 0,7 empfohlen. Die Anforderung an die Stammzahl je Hektar wird dort bestätigt: nach theoretischen Überlegungen seien zwar 500-1000 Stämme/ha mit einem BHD von 35 cm erforderlich (SALM 1979, zit. nach BAY. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1997). Diese Zahl könne aber in der Praxis nicht erreicht werden und laut einer weiteren Untersuchung könnten bereits 250 bis 400 gleichmäßig verteilte Nadelbäume je Hektar Bodenlawinen verhindern (GRASS und IMBECK 1985, zit. nach BAY. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1997). Eine sehr hohe Bedeutung für den Lawinenschutz hat auch die Verjüngung und die mit ihr verbundene Bodenrauhigkeit. Bei Naßschneelawinen im sehr steilen Gelände über 40° beispielsweise hat die Stammzahl des Altbestandes keinen Einfluss mehr. Nur eine stammzahlreiche Verjüngung kann den Schnee dann noch auf dem Boden fixieren (HILDEBRANDT 1999, BAY. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1997). Eine etwas differenziertere Übersicht über die notwendigen Stammzahlen oder Bestandesgrundflächen für eine gute Erfüllung der Schutzfunktion findet sich bei TOCKHORN und RIESE (1986) und in erweiterter Form bei ZIMMERMANN und ZWINGMANN (2001). Hier wurden auch die Erkenntnisse von SEITZ und AMMER (2000) hinsichtlich Beschirmungsgrad und Baumartenzusammensetzung eingearbeitet. Tab. 2.4 zeigt diese Werte, ergänzt durch die Ergebnisse von BAIER et al. (2007b). AMMER et al. (1985) ziehen zur Beurteilung der Schutzbefähigung noch die räumliche Verteilung der Bäume nach einer verbal beschriebenen vierstufigen Skala heran. Bestände ohne Lücken mit gleichmäßiger Verteilung der Bäume schneiden am besten ab, stark geklumpfte Bestände mit großen Lücken am schlechtesten. ZIMMERMANN und ZWINGMANN (2001) greifen diesen Ansatz auf, benutzen zur Abgrenzung aber den Aggregationsindex von CLARK und EVANS (1954): Bestände mit einem Index von unter 0,8 beurteilen sie als nur noch bedingt schutztauglich.

Tab. 2.4: Richtwerte verschiedener Autoren zur Beurteilung der Schutzwirksamkeit eines Waldes (nach TOCKHORN und RIESE 1986, ZIMMERMANN und ZWINGMANN 2001, ergänzt)

Autor und Jahr	Kriterium	Beurteilung der Schutzwirksamkeit					Untersuchungsstandort
		gut	befriedigend	kritisch	ungenügend		
Löw 1975	Grundfläche Baumzahl in Jungbeständen	>40 m ²	30-40 m ² >2000	10-30 m ²	< 10 m ²		Hochlagenwälder des Werdenfelder Landes
Schreyer und Rausch 1978	Grundfläche in Altbeständen in Jungbeständen Baumzahl in Altbeständen in mittelalten Beständen in Jungbeständen	>40 m ² >20 m ²	20-40 m ² 10-20 m ²	10-20 m ² 5-10 m ²	<10 m ² < 5 m ²	< 200 < 500 <1000	Bergwald 900-1400 m NN im Miesbacher Raum
Zenke 1985	Baumzahlen in flacherem Gelände bei 35° Neigung bei 40° Neigung			200- 300 < 500 800-1000			Auswertungen von Lawinereignissen im bayerischen und schweizerischen Alpenraum
		Soll		Kritisch			
Meyer-Grass und Schneebeil 1992	Laubwald						Waldlawinenprojekt EISLF 1985 bis 1990 "Auswertungen von aktuellen Waldlawinereignissen im schweizerischen Alpenraum"
	Kronenbedeckung % Stammzahl/ha >16 cm Lückenbreite (m) Veg.deckungsgrad (%) Hangneigung (Grad)	>80 >550 keine <35		<80 <450 >5 m >50 >38			
	Laubmischwald						
	Kronenbedeckung % Stammzahl/ha >16 cm Lückenbreite (m) Veg.deckungsgrad (%) Hangneigung (Grad)	>70 >300 keine <50		<70 <280 >5 m >50 >42			
	Wintergrüner Wald						
	Kronenbedeckung % Stammzahl/ha >16 cm Lückenbreite (m) Veg.deckungsgrad (%) Hangneigung (Grad)	>50 >210 <5		<35 <190 >10 >39			
		sehr gut	gut	ausreichend	mangelhaft	ungenügend	
Seitz und Ammer 2000	Beschirmungsgrad	≥0,9	<0,9-0,8	<0,8-0,7	<0,7-0,5	<0,5	Bergwald im Bereich der Forstämter Kreuth und Schliersee, Kalkalpin und Flysch 800-1500 m NN
	Baumartenzusammensetzung (%)						
	Bergmischwald	<60-70 Fi >20-30 Lbh >10-20 Ta	>70-80 Fi 10-20 Lbh 0-10 Ta oder: 40-50 Ndh 30-50 Lbh 0-10 Ta	>80-90 Fi 10-20 Lbh 0-10 Ta oder: 50-80 Lbh	>90-100 Fi ≤ 10 Lbh 0 Ta	100 Fi oder: >80 Lbh	
	Hochlagen Fichtenwald	90-100 Fi 0-10 Lbh 0-10 Ta	Bei höheren Mischungsanteilen: siehe Bergmischwald				
Schluchtwald: stellvertretend Rinnenbereiche	>80-90 Lbh 0-20 Fi 0-10 Ta	>60-80 Lbh >20-30 Fi 0-10 Ta	>50-60 Lbh >30-40 Fi 10-20 Ta	<50 Lbh >40 Fi <10 Ta	100 Fi		

Fortsetzung Tab. 2.4

Autor und Jahr	Kriterium	Beurteilung der Schutzwirksamkeit					Unters. Ort
		sehr gut	gut	ausreichend	mangelhaft	ungenügend	
Baier et al. 2007b		Aktuelle Schutzerfüllung					Bergmischwälder der montanen Stufe (<1400m über NN) auf kalkdominierten Böden – getestet in 2 Gebieten: Somberggehäng, Ettaler Berg
	Beschirmung	≥0,9	<0,9-0,8	<0,8-0,7	<0,7-0,5	<0,5	
	Verjüngungsanteil	auf >60% entwicklungs-fähige VJ	auf >50% entwicklungs-fähige VJ	auf >30% entwicklungs-fähige VJ	auf >10% entwicklungs-fähige VJ	auf <10% entwicklungs-fähige VJ	
	Baumarten des herrsch. Best.	bis 40% Lbh/Lärche	bis 50% Lbh/Lärche	bis 60% Lbh/Lärche	bis 70% Lbh/Lärche	über 70% Lbh/Lärche	
	Mischungsform	einzel	einzel-trupp-/horstweise	trupp-gruppenw. teils flächig	horstweise-flächig	flächig unge-mischt	
	Stufigkeit	mehrschichtig	dreischichtig	zweischichtig	ein-zweisch.	einschichtig	
	Aktueller, schutzwirk-samer Bodenzu-stand	Böden ohne Aushagerung Bsp. Terra Fusca, Moderrenzina O/C-Böden Tangel- oder Moderhumus	Böden mit leichtem Humus-schwund <30% der Fläche ver-grast	Böden mit schleichendem Humusschwund <50% der Fläche vergrast	Böden mit starkem Humusschw. >50% der Fläche ver-grast Moderrenz. treten zurück	Böden mit extremem Humusschw. Mullrendzinen oder offenlie-gender Mineralboden, Sanierungsfl.	
	Bodenrauigkeit, Mikrorelief	Sehr rau, stark strukturiertes Gelän-de, große Blöcke oder tiefe Karren (<2 m)	Rau: stark strukturiertes Gelände, kl. Blöcke oder Karren >1 m Geländeunter-schied	Mittelm. strukturiertes Gelände mit sehr glattem Bewuchs oder unstrukturiertes mit gesich. VJ	unstr. Gelände mit glatter Oberfläche z.B. unbe-wachs. Wald-boden, Zwerg-sträucher	stark unstrukt. Gelände mit sehr glatter Oberfläche z.B. Gras, verkrautete Quellaustritte	
		Prognostizierte Entwicklung der Schutzerfüllung					
	Risiko aufgrund Fichtenanteil	<30-40% auf labil. Standort <50% auf stabilem St.	40-50% auf labil. Standort 50-60% auf stabilem St.	50-60% auf labilem Standort 60-70% auf stabilem St.	60-70% auf labil. Standort 70-80% auf stabilem St.	>70% auf labil. Standort >80% auf stabilem St.	
	Vitalität und Schäden (Kro-nenverlicht. Schäl-schäden,)	Bestand sehr vital, bis 5% der Bäume geschädigt aber noch lebend	Bestand vital, bis 15% der Bäume geschädigt aber noch lebend	Bestand mittel-mäßig vital, bis 30% der Bäume ge schädigt aber noch lebend	B. kränkelnd, bis 50% der Bäume geschädigt aber noch lebend	B. abgängig, >50% der Bäume geschädigt aber noch lebend	
	Baumarten-zusammensetz. der entwicklungs-fähigen Verj.	mind. 25% Ta bis 50% Fi bis 40% Lbh + Lärche	mind. 15% Ta bis 60% Fi bis 50% Lbh + Lärche	mind. 5% Tanne bis 70% Fi bis 60% Lbh + Lärche	ohne Tanne, bis 70% Fi bis 70% Lbh + Lärche	>70% Lbh od. >70% Fi oder >70% Kie/Lä	
	Zerfallsneigung des Bestandes	nicht anfällig, in letzten 15 J. nur einzelne Bäume abgest	nicht anfällig, in letzten 15 J. bis 5% der Bäume abgest	leicht anfällig, in letzten 15 J. bis 10% der Bäume abgestorben	anfällig, in letzten 15 J. bis 15% der Bäume abgest	sehr anfällig, in letzten 15 J. über 15% der Bäume abgest	
	Tendenz der entwicklungs-fähigen Verjüngung	VJ in jeder Lücke – wird voraussichtlich zu gesicherter VJ heranwach-sen, auf 15% bereits ges.	VJ in jeder 2. Lücke – wird voraussichtlich zu gesicherter VJ heranwach-sen, auf >5% bereits ges.	VJ in mind. jeder 2. Lücke – wird voraus-sichtlich zu gesicherter VJ heranwach-sen derzeit noch kaum ges. VJ	VJ ist nur in einigen Bestandes-lücken vor-handen oder gering wüch-sig	Keine VJ vorhanden oder wird ohne Pflege nicht in gesicherte VJ übergehen	
	Tendenz des Bodens, die nächsten 15 Jahre	sehr positiv: Humusaufbau durch gesi-cherter Verjüngung Vergrasung <15%	positiv: Bestand geschlossen, nat. Humus-form noch vorhanden Vergrasung <25%	gleichbleibend Bestand ge-schlossen Humusschwund höchstens auf Teilflächen Vergrasung <50%	negativ: schleichender großflächiger Humusschw. in verlichteten Wäldern Vergrasung >50%	akut negativ: extremer Humusumsatz nach flächigen Störungen evtl. schon Erosions-anrisse	

Aus den Übersichten zu den Anforderungen aufgrund von Naturgefahren wird deutlich, dass der fast reine Fichtenbestand temporär durchaus Schutz vor verschiedenen Naturgefahren bieten kann. Solange er geschlossen ist, weist er keine lawinengefährlichen Lücken auf und hat den erforderlichen Bestockungsgrad für den Schutz gegen Rutschungen und Erosion. Sofern die Fichten die nötige Dimension aufweisen, erfüllt er auch die Bedingungen für den Schutz gegen Steinschlag. Das große Problem besteht jedoch darin, dass er die Anforderungen hinsichtlich der Standortstypen in weiten Bereichen nicht erfüllt. Ein Bestand auf einem Tannen-Buchenwald-Standort mit einem hohen Fichtenanteil kann also im Moment gut vor Naturgefahren schützen, aber das Risiko der Entstehung von Sturm- und Borkenkäferschäden und damit dem Verlust der Schutzfunktion ist groß (FREHNER 2001, WEHRLI et al. 2007). Ging man früher noch davon aus, Borkenkäfer würden über 900-1000 m. ü. NN nicht in gefährdungsrelevanten Mengen vorkommen, so wurde man durch die großen Kalamitäten im Nationalpark Bayerischer Wald in den 90er Jahren eines Besseren belehrt. Heute nimmt man an, dass die klimatischen Bedingungen für eine übermäßige Vermehrung dieser Insekten bis in eine Höhe von rund 1500 m ü. NN gegeben sind (LOBINGER 2002, IMMLER und BLASCHKE 2007). In montanen Lagen kann sich der Buchdrucker bei günstigen Verhältnissen mehrmals pro Jahr vermehren und starke Schäden verursachen (WASSER und FREHNER 1996). Das Hauptaugenmerk einer stabilitätsorientierten Bewirtschaftung muss folglich in solchen Beständen vor allem darauf liegen, die Resistenz gegenüber Schneebruch, Sturmwurf und Borkenkäferschäden zu erhöhen. Diese Risikofaktoren bedrohen die Fichtenbestände in verschiedenen Entwicklungsstufen unterschiedlich stark. Die Schneebruchgefährdung ist vor allem in den Jugend- und jüngeren Wachstumsstadien besonders groß, während die Gefahr des Sturmwurfes erst ab einer gewissen Baumhöhe in den Wachstumsstadien eintritt (BURSCHEL 1981, THOMASIU 1988b, SEKOT 1990, Müller 2002). Die Borkenkäfergefahr ist generell von der Vitalität der Bäume abhängig und steigt vor allem nach Vorschädigungen durch Schnee oder Sturm und in Trockenzeiten. Eine eingehende Literaturanalyse zu den Faktoren, welche die Disposition von Fichtenbeständen gegenüber Schneebruch und Windwurf beeinflussen, erfolgt in Kapitel 4.1.

Für den Fall des Eintritts solcher Schäden in größerem Umfang muss rechtzeitig die Elastizität der Bestände gestärkt werden. Auch wenn der Bergwald gegenüber den meisten Naturgefahren einen umso wirksameren Schutz bietet, je höher die Stammzahl und je geringer die Lücken sind, so ist es dennoch nicht das Ziel, einen dichten Wald mit nur dicken Bäumen zu erreichen. Die Idealvorstellung ist vielmehr ein Mosaik aus dicken und dünnen Bäumen sowie

Verjüngungsteilen: der Gebirgsplenterwald (BRANG et al. 2004)⁴. Obgleich echte Plenterwälder oft nur eine Idealvorstellung sein können, werden ungleichaltrige mehrschichtige Bestände, die ein solches Mosaik aufweisen und demnach Resistenz und Elastizität vereinen, generell als die geeignetsten Bestände zur Erfüllung von Schutzfunktionen gesehen (AMMER 1989, 1990, OTT et al. 1997, MOTTA und HAUDEMANT 2000, DVORÁK et al. 2001, DORREN et al. 2004, SCHÜTZ 1998, 1999a, 2001a, 2001b, O'HARA 2006, BRANG et al. 2006, WEHRLI et al. 2007). Laut SCHÖNENBERGER et al. (2003) sowie SCHÖNENBERGER und BRANG (2006) lässt sich die Schutzwirkung von Bergwäldern nach Windwürfen wie „Vivian“ mehr als 10 Jahre früher wieder erreichen, wenn vor dem Sturmereignis Vorausverjüngung unter dem Schirm vorhanden ist.

2.4 Handlungsempfehlungen zur Stabilitätspflege

2.4.1 Eingriffe zur Erhöhung der Resistenz

Konkrete Handlungsempfehlungen zur Pflege von Fichtenbeständen im Gebirge sind eher selten und sofern vorhanden, oft auf subalpine Standortsverhältnisse adaptiert (KUOCH 1972, ZELLER 1977). Eine relativ ausführliche Anweisung findet sich allerdings bei ZELLER (1996) (direkt übernommen in OTT et al. (1997)). Auch wenn diese Handlungsempfehlungen eher aus der Sicht des forstlichen Praktikers formuliert sind, sollen sie hier kurz zusammenfassend dargestellt werden (siehe auch Abb. 2.5):

2.4.1.1 Fichtendickungen und Stangenhölzer stabilisieren – nach ZELLER (1996)

Das generelle Problem sieht ZELLER (1996) in der Tendenz von Fichtenbeständen, gleichförmig aufzuwachsen, in Schluss zu treten und schlanke, kurz-kronige Bäume zu entwickeln. Als Ausgangssituation für seine Handlungsempfehlung unterscheidet er deshalb zwei Situationen: Bestände, in denen die Bäume noch lange Kronen aufweisen und Bestände mit kurz-kronigen Bäumen (weniger als $\frac{1}{2}$ der Baumhöhe).

Situation „Lange Kronen“: Wenn die Kronen noch lang genug sind, kann man sich laut ZELLER (1996) für zwei sehr verschiedene Strategien entscheiden: die Durchforstung oder die Rottenpflege.

Bei der *Durchforstung* wird den bestveranlagten Bäumen Kronenfreiheit verschafft. Sie sollen eine lange grüne Krone behalten und Schäfte mit niedrigem Schlankheitsgrad bilden. Die

⁴ Gemäß der schweizerischen Unterscheidung in Wälder der Bergwaldstufe und Gebirgsfichtenwald für Wälder im eher subalpinen Bereich ist für den hier untersuchten Bereich der Begriff „Bergplenterwald“ nach OTT et al. 1991 zutreffender.

nächste Durchforstung ist fällig, sobald sich der Bestand wieder zu schließen beginnt. Ergebnis ist ein gleichförmiges geschlossenes Baumholz mit einem Stützgerüst aus relativ stabilen, regelmäßig verteilten Bäumen. So lange der Bestand geschlossen bleibt, wird sich auf der meist trockenen Streu keine verzüngungshemmende Schicht entwickeln und gerade in der montanen Stufe lassen sich die Bestände dann laut ZELLER (1996) relativ problemlos verzüngen.

Bei der *Rottenpflege* werden Rotten unterschiedlicher Form, bestehend aus wenigen Bäumen bis zu ganzen Baumgruppen, ausgeformt. Dabei werden zwischen den Rotten Abstände von 8-10 m geschaffen (= doppelte Kronenausladung der ausgewachsenen Randbäume). Wo Schneebewegungen zu befürchten sind, werden hohe Strünke zur Befestigung stehengelassen. Innerhalb der Rotte werden schlanke Zwischenständer entfernt, was vor allem in der montanen Stufe nötig ist, wenn Schneebruchgefahr droht. Ergebnis sind stabile Kollektive, die einen eigenen Kronenmantel aufweisen. Weitere Maßnahmen stehen erst an, wenn verwertbares Holz herangewachsen ist und die Zeit für erste Verzüngungshiebe gekommen ist. Dann werden ganze Rotten auf einmal geerntet. Sofern diese Ernte zeitlich gestaffelt erfolgt, ergibt sich laut Zeller die Möglichkeit zur Strukturierung in Richtung Gebirgsplenterwald.

Situation „kurze Kronen“: In dieser Situation scheidet die Ausformung von Rotten aus, da potenzielle Randbäume mit grünen Kronen fehlen. Sofern noch genügend stabile Bestandeselemente zu finden sind, sollen diese im Rahmen einer vorsichtigen *Durchforstung* gefördert werden. Als stabile Bestandeselemente definiert Zeller entweder vorwüchsige Fichten mit vitaler Krone und h/d-Verhältnis unter 80 oder zwei oder mehrere eng zusammenstehende Bäume, wenn

- deren Kronen sich mit den Ästen verzahnen
- voll ausgebildete aber schlanke Kronen sich aneinanderschmiegen und Halt finden
- Bäume mit dichten Teilkronen einen gemeinsamen Kronenraum teilen

Außerdem gefördert werden Mischbaumarten.

Sind im Bestand nicht mehr genügend stabile Elemente vorhanden, so empfiehlt ZELLER (1996) entweder eine *Unterlassung von Eingriffen* oder *Notmaßnahmen*, deren Wirkung er allerdings für ungewiss hält. Diese Notmaßnahmen sind entweder eine *Niederdurchforstung*, um eine weitere Kronenverkürzung der Oberschichtbäume zu verhindern, oder eine *Unterteilung des Bestandes in Kammern*. Dabei werden diagonal zum Hang Schneisen angelegt, die später auch als Rückelinien genutzt werden können. Diese Schneisen sollen im Falle eines Schadereignisses einen Domino-Effekt verhindern.

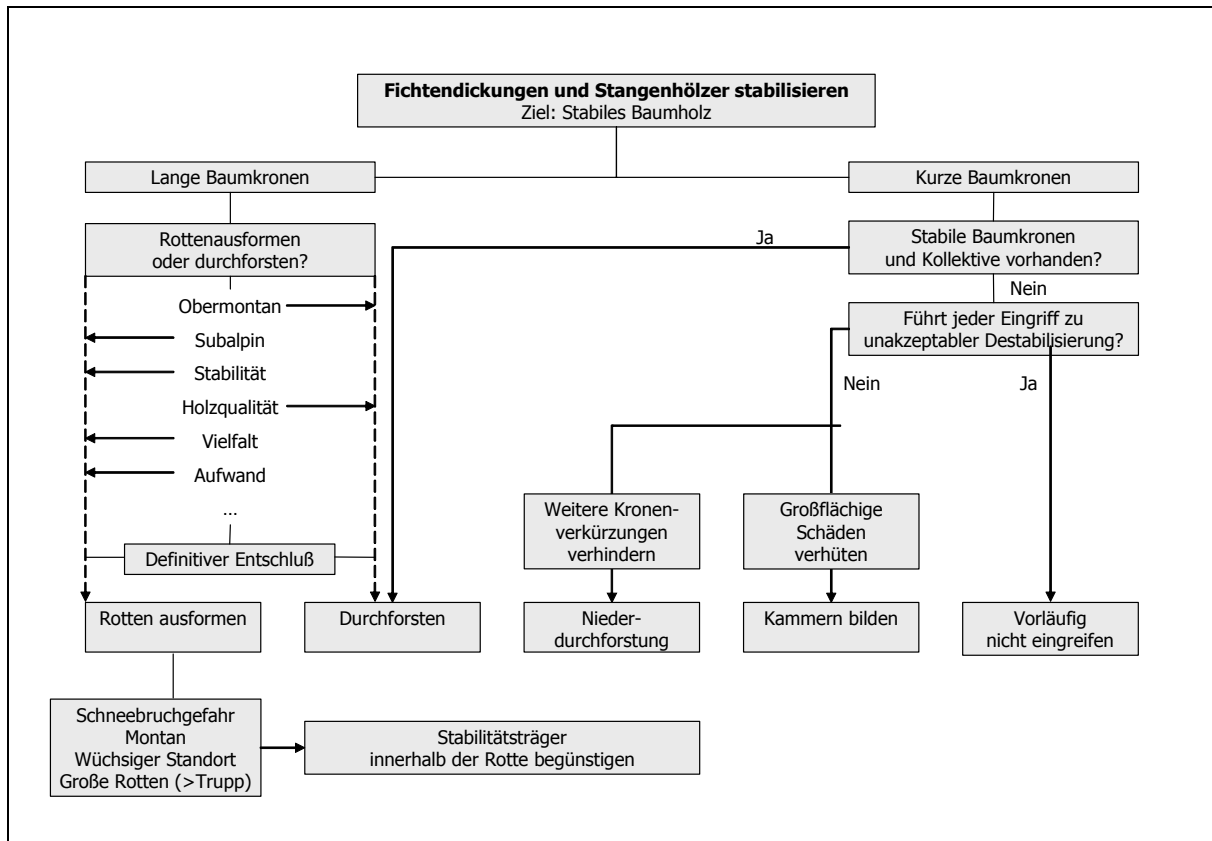


Abb. 2.5: Schema zur Entschlussfassung in Fichtendickungen und Stangenhölzern, nach ZELLER (1996)

2.4.1.2 Überführung in Plenterbestände und Strukturdurchforstung

Plenter- oder Dauerwälder werden als besonders stabile Bestandesformen angesehen⁵, weshalb seit Ende des 19. Jhd. bis heute verschiedenste Konzepte erarbeitet wurden, um gleichförmige Bestände in Plenterwälder zu überführen. Bedeutende Autoren, die sich schon früh mit Plenterwäldern und der Überführung zu selbigen befassten, sind GURNAUD (1886), BILLEY (1887, 1920, 1921⁶, 1922), BORGGREVE (1891), BALSIGER (1925), AMMON (1926, 1927, 1937) sowie DANNECKER (1929).

Für echte Plenterwälder bedarf es einer Mischung aus verschiedenen Baumarten, beispielsweise aus Fichte, Buche und Tanne.⁷ In reinen Fichtenbeständen lassen sich höchstens plenterartige Strukturen erzeugen, welche als Ausgangsbasis für gemischte Plenterwälder in der Folgegeneration dienen können. Doch auch dafür lohnt sich ein Blick in die Literatur der Plenter- und Strukturdurchforstung.

⁵ Gründe für eine besondere Stabilität von Plenterwäldern werden in Kapitel 4.1.1.3 erläutert.

⁶ Deutsch zusammengefasst bei SCHÄDELIN (1927).

⁷ Mit Ausnahme von Buchenplenterwäldern, wie sie beispielsweise in Thüringen zu finden sind.

Der Begriff der „Plenterdurchforstung“ als Methode der Überführung von gleichförmigen Beständen zu Plenterbeständen wurde sowohl von BORGGREVE (1891) als auch von BIOLLEY (1887, 1921) geprägt. Allerdings unterscheiden sich die beschriebenen Vorgehensweisen deutlich voneinander (SCHÄDELIN 1927, LEIBUNDGUT 1978, REININGER 1990), weshalb es bei Verwendung des Begriffes letztlich zweckmäßig ist, anzugeben, welche Art der Plenterdurchforstung gemeint ist.

BORGGREVE (1891, S. 303) bezeichnet als Plenterdurchforstung Eingriffe, die schon im Durchforstungsstadium starke herrschende Stämme entnehmen, welche „bei ungünstigeren Stammformen von oben her die Kronen ihrer Nachbarn einengen [und] seitwärts drücken“. Derartige Eingriffe werden für Fichtenbestände heutzutage nicht als zielführend angesehen, da hierbei Bäume entnommen werden, die noch einen starken Zuwachs aufweisen und eine optimale Dimensionserzeugung verhindert wird (REININGER 1990, RICHTER 1994).

BIOLLEY (1887, 1921) wirkte ab 1881 in den Gemeindewäldern von Couvet des Kantons Neuchâtel in der Schweiz. Er beschrieb nicht nur in Anlehnung an GURNAUD (1886) die so genannte Kontrollmethode zur pfleglichen Behandlung von Plenterwäldern,⁸ sondern versuchte auch, die Plenterung sukzessiv in gleichförmigen Beständen einzuführen (FAVRE 1994, SCHÜTZ 1999). Er definiert die Plenterdurchforstung („éclaircie jardinatoire“) als Hiebe auf die „Intermediaires“ (vgl. Abb. 2.6). Mangels eines bedeutungsgleichen Wortes im Deutschen bezeichnet SCHÄDELIN (1917) die Intermediaires als Mittelständer. Gemeint sind Bäume, welche einerseits herrschende Bäume bedrängen und andererseits unterständige Bäume ausdunkeln. Sie sind von schlechter Qualität und stellen keine wichtige Mischbaumart dar. Dabei bedeutet „intermediaire“ nicht die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Baumklasse:

„Sein Charakter als Mittelständer ergibt sich also zunächst aus der augenblicklichen Stellung zu seiner unmittelbaren Nachbarschaft, und sodann aus seiner verhältnismäßigen Minderwertigkeit gegenüber seinen engeren Raumgenossen. Die Mittelständer eines Plenterbestandes können somit den verschiedensten Etagen und Stärkestufen angehören, je nach ihrer Stellung innerhalb ihrer durch sie direkt beeinflussten Bestandesgruppe.“ (SCHÄDELIN 1927, S. 188).

⁸ Die Kontrollmethode wurde von Gurnaud anlässlich der Weltausstellung in Paris 1879 der Öffentlichkeit vorgelegt. Es ist aber Biolleys Verdienst, sie erfolgreich angewandt und verbreitet zu haben (FAVRE 1994).

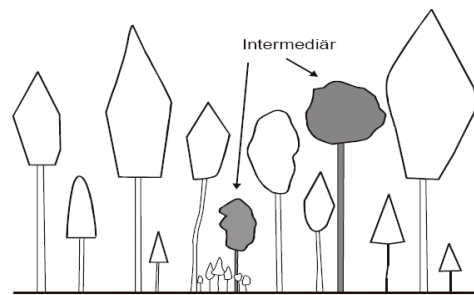


Abb. 2.6: Intermediärbäume (SCHÜTZ 2001, nach Gurnaund 1886)

Ziel bei der Plenterdurchforstung nach GURNAUD (1886)/BIOLLEY (1921) ist es, die herrschenden Zukunftsbäume zu fördern, das beherrschte Auslesematerial zu begünstigen, damit dieses in höhere Bestandesschichten aufsteigen kann und der Erntezeitraum möglichst gestreckt wird. Durch dieses Vorgehen wird automatisch, beständig und überall die natürliche Verjüngung gefördert. Letztlich soll ein Dauerwald erzeugt werden (SCHÄDELIN 1927, LEIBUNDGUT 1978).

Heutzutage als „Strukturdurchforstung“ bezeichnete Eingriffe (REININGER 1987, 1990, GOLTZ 1991, SPELLMANN 1995, ARBEITSGEMEINSCHAFT NATURGEMÄBE WALDWIRTSCHAFT 2001, LEDER 2002) weisen eine gewisse Ähnlichkeit zu BIOLLEYS Plenterdurchforstung (1921) auf. Zusätzlich zu Z1-Bäumen (Z-Baum=Zukunftsbäum), welche nach den Kriterien einer Auslesedurchforstung ausgewählt werden, wählt man auch bei der Strukturdurchforstung entwicklungsfähige Z2-Bäume aus, welche nicht der herrschenden Schicht angehören. Damit soll der spätere Verjüngungszeitraum, in dem Zielstärkennutzungen stattfinden, möglichst gestreckt werden, während sich bereits Verjüngung einstellt. Die Angaben hinsichtlich Z-Baum-Zahlen bei dieser Durchforstungsart haben sich hierbei im Laufe der Zeit deutlich verringert. REININGER (1987, 1990) sprach noch von 300 Z1- und 300 Z2-Bäumen, was sich als deutlich zu hoch erwies (RICHTER 1994, SPELLMANN 1995). GOLTZ (1991) reduzierte bereits auf 150-200 Z1 und 150-200 Z2-Stämme, während bei LEDER (2002) noch von 80-100 Z1-Bäumen die Rede ist. Aktuell wird in den Bayerischen Staatsforsten ein Konzept mit 100 Z1 und 100 Z2-Bäumen erprobt (BAYSF 2008).

RICHTER (1994) sowie SPELLMANN und NAGEL (1996) kritisieren die Strukturdurchforstung. Ihrer Meinung nach führt sie zu Zuwachseinbußen und erzeugt nicht die gewünschten Strukturen. Weiterhin bezweifeln sie die Entwicklungsfähigkeit von Z2-Bäumen. STERBA (1999) sowie STERBA und ZINGG (2001) zufolge ist diese Entwicklungsfähigkeit jedoch durchaus gegeben, so lange die Bäume über eine ausreichend lange Krone verfügen.

Die unter anderen von WECK (1948, 1950, 1958) angeführte Auslegung des Wachstumsgesetz nach BACKMANN (1943),⁹ welche besagt, dass Bäume mit einem gedämpften Jugendwachstum generell über eine besonders hohe Wuchspotenz im Alter verfügen, wurde zwar verschiedentlich berechtigt kritisiert (SCHLETTER 1954, ASSMANN 1961, LIEBOLD 1965, 1967), aber dies heißt nicht, dass lange überschirmte Bäume kein Entwicklungspotenzial mehr haben. Es ist vielmehr erwiesen, dass langandauernde Überschirmung in der Jugend die spätere Wuchsleistung nicht beeinträchtigt. Der Wachstumsgang ist bei solchen Bäumen in der Regel phasenverschoben und die Wachstumskulmination verschiebt sich auf höhere Alter. Wird die Überschirmung irgendwann aufgehoben, zeigt ein vormals unterdrückter Baum einen Wachstumsgang wie ein jüngere Bäume ohne Überschirmung, vorausgesetzt er verfügt über eine ausreichende Bekronung (MAGIN 1959, ASSMANN 1961, KERN 1966, SCHÜTZ 1969, MITSCHERLICH 1970, INDERMÜHLE 1978, KRAMER 1979, 1988, PREUHLER 1981, SCHMITT 1994a, 1994b, SPATHELF 1999, EPP 2004, EPP et al. 2004).

SCHÜTZ (1998, 1999a, 2001a, 2001b) unterscheidet bei der Überführung von gleichförmigen Beständen in Plenterbestände zwischen Überführung „auf der Ausgangsbestockung“ und Überführung „auf der Folgegeneration“. Bei der Strategie „auf der Ausgangsbestockung“ werden Teile der Ausgangsbestockung in den künftigen strukturierten Bestand übernommen. Bei der Strategie „Auf der Folgegeneration“ lässt man keine Altbestandsreste als Strukturelemente einwachsen, sondern beginnt die Überführung mit einer möglichst strukturierten Verjüngung. Die erste Variante kann nur durchgeführt werden, wenn die Ausgangsstabilität und die Lebenserwartung der Gerüstbäume groß genug sind. SCHÜTZ (1998) beschreibt dies mit den Worten BIOLLEYS (1897, zit. n. SCHÜTZ 1998): es müssen „genügend schirmherrliche Bäume mit potentiell langen Karriereaussichten“ vorhanden sein. Ist dies noch nicht der Fall, so empfiehlt Schütz eine Stabilitätsdurchforstung, bei der es im Gegensatz zur klassischen Auslesedurchforstung genüge, „40-60 Dauerträger so auszuschaffen“, dass auch bei tüchtiger Kronenumrandung keine allzu große Destabilisierung entsteht. Hauptmerkmal zur Identifizierung solcher Gerüstbäume ist laut SCHÜTZ (1998) der Bekronungsgrad. Bei gut bekronen Bäumen halten auch die Wachstumskräfte länger an, was die notwendige zeitliche Staffelung der Verjüngung ermöglicht (zum ausdauernderen Wachstum von großkronigen Bäumen vgl. auch KNOKE und PETER 2002). Sind die Entwicklungschancen einer solchen minimalen Anzahl

⁹ BACKMANN (1943) hat nicht die generelle Hypothese aufgestellt, dass langsames Wachstum immer hohe Zuwachswerte im Alter bedingt, sondern differenziertere Schlussfolgerungen gezogen (siehe BACKMANN (1943, S. 151 ff.) und LIEBOLD (1965, S. 1307 f.)). Liebold (1965) räumt aber ein, dass eine günstige Wirkung langsamen Jugendwachstums eintreten kann, wenn Kulmination und Reife verzögert werden, wie es ggf. im Plenterwald eintritt.

von Vitalträgern nicht gegeben, empfiehlt SCHÜTZ (1998) die Überführung „auf der Folgegeneration“: eine „möglichst zeitlich und örtlich gestaffelte Verjüngung in der räumlich ungeordneten Schachtstellung“, um einen Folgebestand zu schaffen, der bessere Voraussetzungen für die Differenzierung aufweist.

HANEWINKEL (1996) trifft für die Überführung von Fichtenbeständen im Flachland eine ähnliche Unterscheidung wie SCHÜTZ (1998): Er unterscheidet in eine „direkte Überführung“ und eine „Überführung über die Folgegeneration“. Nach seinem Konzept sind die Entscheidungskriterien in der Regel das Alter und die Höhe der Bestände: Nur bei jungen Beständen bis 18 m Oberhöhe sieht er die Möglichkeit, nach stabilisierenden Eingriffen noch in derselben Generation einen trupp- bis gruppenweisen ungleichaltrigen Dauerwald zu erzeugen.

BACHOFEN und ZINGG (2000, 2001, 2005) legten in der Schweiz Versuchsflächen in 60-70 jährigen gleichförmigen Fichtenaufforstungen an und untersuchten, inwiefern sich die Struktur der Bestände mittels Durchforstungen an die Struktur von Plenterbeständen angleichen lässt. Dabei verfolgten sie die Strategie, mit kräftigen Eingriffen rottenähnliche Strukturen bzw. Kleinkollektive aus wenigen Bäumen auszuformen oder wo schon ansatzweise vorhanden, zu fördern und damit die mechanische Stabilität zu verbessern. Gleichzeitig sollte in den entstehenden Lücken die Verjüngung eingeleitet oder gefördert werden. Die Aushiebe fanden überwiegend in den mittleren Durchmesserstufen statt. Allerdings ist die Situation nicht direkt auf Fichtenbestände der Bergmischwaldstufe übertragbar, da die Versuchsflächen in einem Höhenbereich von 1400-1600 m ü. NN angelegt wurden und insofern eher der subalpinen Stufe zugeordnet werden müssen.

2.4.1.3 Weitere Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der Resistenz

BISCHOFF (1987) postuliert für künstlich begründete Fichtenbestände Stabilisierungseingriffe schon von der frühen Dickungsstufe an. Nachdem die Pflanzung in der Regel nicht rottenförmig erfolgte, empfiehlt er ähnlich wie ZELLER (1996) eine nachträgliche Rottenbildung. Hinsichtlich Durchforstungen lehnt er eine reine positive Auslese im Sinne SCHÄDELINS (1934) zugunsten einer „Auslese nach dem Prinzip der geringsten Destabilisierung“ ab.

MOSANDL (1991) folgert aus den Ergebnissen des Bergmischwaldversuches am Lehrstuhl für Waldbau der Ludwig-Maximilians-Universität München, dass Eingriffe in dicht gehaltenen Altbeständen generell zunächst stabilitätsmindernde Wirkung haben. Er empfiehlt deshalb sogar in Beständen, in denen Tanne und Buche beteiligt sind, vorsichtige Eingriffe: „Schwache Schirmhiebe, die bis zu 30% der Grundfläche entnehmen und im wesentlichen in die Mittelschicht eingreifen, beeinträchtigen das Stützgefüge und die Statik der Bestände kaum.“

Stärkere Eingriffe, die auch Oberschichtbäume entfernen, gefährden die Stabilität dagegen sehr.“

2.4.2 Eingriffe zur Erhöhung der Elastizität

MAYER und OTT (1991) beschreiben den Saumkahlschlag mit anschließender Pflanzung als ein in vielen Bereichen der österreichischen Ostalpen gängiges Verfahren zur Verjüngung von fichtenreichen Beständen. Dieses Verfahren wird allerdings nur in nicht erschlossenen Hängen angewandt, bedingt durch den Zwang zur Nutzungskonzentration und um Bringungsschäden am verbleibenden Bestand zu vermeiden. Nach Wegerschließung werden femelartige und saumfemelartige Verfahren bevorzugt, um die Ungleichaltrigkeit und Stufigkeit zu erhöhen und Mischbaumarten einbringen zu können.

Die umfangreichsten Forschungen zur Verjüngung im Bergmischwald wurden am Lehrstuhl für Waldbau der Forstwissenschaftlichen Fakultät an der Ludwig-Maximilians-Universität München¹⁰ durchgeführt. Aus den zahlreichen Veröffentlichungen, die aus diesen Studien hervorgingen, lassen sich viele Handlungsempfehlungen zur Verjüngung von Bergmischwäldern entnehmen. Auch wenn die Untersuchungen in Altbeständen durchgeführt wurden, die eine gemischte Bestockung aufwiesen, lassen sich dennoch einige Grundsätze auf Fichtenbestände übertragen. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund, dass auch in den Fichtenbeständen immer wieder vereinzelt Mischbaumarten gefunden werden, die potenziell als Samenbäume dienen können.

In der Höhenlage von Bergmischwaldbeständen lässt sich durch Eingriffe in noch nicht aufgelichtete Bestände relativ leicht Naturverjüngung erzielen (BURSCHEL et al. 1990, AMMER 1996a, 2003). Trotz eines relativ dichten Kronenschlusses finden sich, sofern Samenbäume vorhanden sind, ausreichend Verjüngungspflanzen von Tanne, Ahorn und Buche. Die Fichte dagegen hält sich in einem geschlossenen Bergmischwald nicht. Sofern ein Ereignis auftritt, welches den Kronenschluß unterbricht, beginnen die Verjüngungspflanzen zu wachsen. Tritt dies nicht ein, vergehen sie und werden durch neue Pflänzchen ersetzt (HOHENADL 1981, BURSCHEL et al. 1992, SZWAGRZYK et al. 2001). MOSANDL (1991) beschreibt den Vorgang der Verjüngung in zwei Phasen: dem *Ansamungsstadium* und dem *Lichtungsstadium*. Während der ersten Phase muss der Bereich des Ansamungsoptimums gefunden werden. Dieser liegt bei einer Überschildung, die nicht so dicht ist, dass die Überlebensraten zu gering sind, aber auch nicht so locker ist, dass ein Ankommen der Verjüngung durch die Konkurrenz der Bo-

¹⁰ Inzwischen der Technischen Universität München zugehörig.

denvegetation unmöglich wird. Im anschließenden *Lichtungsstadium* benötigen die Pflanzen mehr Licht, um in die Höhe zu wachsen, weshalb Mosandl stärkere Schirmhiebe (sofern die Stabilität des Altbestandes dies zulässt) oder Femelhiebe empfiehlt. Die geringen Lücken, welche durch das Absterben einzelner Bäume auftreten, reichen nicht aus, um ein Überleben der Verjüngung zu ermöglichen (EL KATEB et al. 2004). Die Entnahmen sollten allerdings 30% der aufstockenden Grundfläche nicht überschreiten, da sonst zum einen die Stabilität des Altbestandes zu sehr beeinträchtigt wird (MOSANDL 1991) und zum anderen sich die Bodenvegetation sprunghaft entwickelt und das Höhen- und Dickenwachstum der Verjüngungspflanzen wieder bremst (AMMER 1996a, 2003). EL KATEB (1991) verzeichnet bei einer Untersuchung der Sproßgewichte von Naturverjüngungspflanzen eine deutliche Steigerung der Gewichte schon bei geringen Zunahmen der Beleuchtung. Dieser Effekt galt aber für Pflanzen, die vorhanden waren, bevor sich eine üppige Bodenvegetation entwickelte. Pflanzen, die später hinzukamen, zeigten deutlich geringere Reaktionen auch hinsichtlich der Höhenentwicklung. Demzufolge wird empfohlen, die Verjüngungspflanzen aus verschiedenen Samenjahren unter einer leichten Schirmstellung gleichsam wie in einem Gefäß zu sammeln, bevor man den Bestand weiter auflichtet und sich die Bodenvegetation entwickeln kann (MOSANDL und EL KATEB 1988).

Sollen die Bestände durch Pflanzung künstlich verjüngt werden, empfiehlt GROSE (1983), große und vitale Pflanzen zu verwenden, weil sich diese gerade auf verunkrauteten Flächen besser durchsetzen. In diesem Fall könne man auch rasch weiter auflichten und das Höhenwachstum der Pflanzen forcieren. Laut BRUNNER (1993) sollte eine Pflanzung direkt nach dem ersten Verjüngungshieb durchgeführt werden, da dies den entscheidenden Wuchsvorsprung der Pflanzen vor der Bodenvegetation sichere. Als Verjüngungsverfahren kommen dabei Schirm-, Femel- und Lochhiebe oder verwandte Verfahren in Frage. Während sich Löcherhiebe für die künstliche Verjüngung geradezu anbieten, da der kräftigen Verjüngung entsprechend Licht gegeben wird, sind diese nach MOSANDL (1984) zur Einleitung von Naturverjüngung abzulehnen: Die hohen Beleuchtungsstärken von bis zu 60% einer Freilandbeleuchtung in der Mitte der Löcher führen zu einer enormen Entwicklung von Bodenvegetation, die das Aufkommen von Naturverjüngung unmöglich macht. Unter der Bodenvegetation misst MOSANDL fünf Jahre nach Versuchsbeginn nur noch eine Beleuchtungsstärke von 4%, was ungünstigere Lichtverhältnisse bedeutet, als die unter einem dichten Altbestandsschirm. Des Weiteren werden durch Löcherhiebe oder auch Kahlhiebe zu viele potenzielle Samenbäume entnommen. Bei den Bergmischwaldversuchen zeigten sich auf den Kahlhiebsflächen mit Abstand die geringsten Samendichten (BURSCHEL et al. 1993).

Praktisch alle vorgenannten Untersuchungen belegen einen entscheidenden Einfluss des Wildverbisses auf die Verjüngung im Bergmischwald. Wildverbiss verhindert zwar nicht das Ankommen von Verjüngung, aber die weitere Entwicklung und die Zusammensetzung. Mit zunehmender Auflichtung steigt auch der Verbiss (MOSANDL 1991) vor allem an den etwas größeren Pflänzchen, da offensichtlich die kleineren Pflanzen für das Wild weniger attraktiv sind (BURSCHEL et al. 1990). Insbesondere Tanne und Ahorn sind betroffen. Dies führt aus zweierlei Gründen zur Entmischung: Einerseits aufgrund von Totverbiss dieser Arten (EIBERLE und NIGG 1987, EIBERLE 1989, RÜEGG und NIGG 2003), andererseits durch eine Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse: Andere Baumarten und auch die Bodenvegetation bekommen einen Vorsprung, während Tanne und Ahorn in der Höhenentwicklung gebremst werden (AMMER 1996a, 1996b). Es ergibt sich ein Synergieeffekt der beiden limitierenden Faktoren „Wildverbiss“ und „Konkurrenzvegetation“ (SCHALL 1998). Eine Bestätigung dieser Ergebnisse findet sich bei BERNHART (1988), der Verbissinventuren der Bayerischen Alpen auswertete. Er stellt gerade bei Pflanzen ab 20 cm Höhe einen dramatischen Entmischungseffekt fest. Die Fichte ist zwar durchaus auch verbissempfindlich, wie EL KATEB (1991) nachgewiesen hat, wird aber vom Wild wesentlich seltener angenommen. Unter Ausschluss des Verbisses zeigte sich die Fichte in der Verjüngung des Bergmischwaldes als konkurrenzschwächste Art (MOSANDL 1991, SCHALL 1998, AMMER 1998). Eine Bodenbearbeitung ist zur Verjüngung von Bergmischwäldern nicht notwendig, sondern eher kontraproduktiv, da bereits vorhandene Pflanzen beschädigt bzw. zerstört werden (MOSANDL 1991).

Nach einer Studie von DIACI (2002) in den Slowenischen Alpen lassen sich viele Ergebnisse der Bergmischwaldversuche auf sehr fichtenreiche Bestände übertragen. In den untersuchten Lücken der Fichtenbestände samten sich trotz weniger Altbäume auch einige Tannen, Ahorne und andere Laubbäume an. Lediglich die Buche war aufgrund mangelnder Samenbäume nur schwach vertreten. Auch hier erwiesen sich Licht und Bodenvegetation sowie Wildverbiss als entscheidende Faktoren. Außerdem unterscheidet DIACI (2002) in Standorte mit mehr oder weniger diffuser (diff.) oder direkter (dir.) Strahlung: A= wenig dir, viel diff; B= viel dir, viel diff; C= wenig dir, wenig diff; D= viel dir, wenig diff. Gemäß dieser Einteilung finden sich die meisten Fichten in A-Bereichen, Ahorn in B-Bereichen und Tannen in C und D-Bereichen, aber unter Schirm. In Übereinstimmung mit HOHENADL (1981) und MOSANDL (1991) empfiehlt DIACI femelartige Öffnungen des Kronendaches zum Erzielen von Buchen-, Tannen- und Ahornverjüngung, während sich für Fichte eher mittelgroße Löcher >0,05 ha eignen, beispielsweise schmale Öffnungen in Ost-West Richtung mit hoher diffuser und geringer direkter Strahlung. Ab einer Lückengröße von 0,1 ha war die Entwicklung der Bodenvegetation allerdings zu stark für Fichtennaturverjüngung. Eine ähnliche Beobach-

tung machte der Schweizer Kreisförster BAVIER bereits 1910: „Es ist ein von der Praxis bestätigter Lehrsatz des Waldbaues, dass die Fichte vor allem Seitenlicht liebt, oder besser gesagt, mit Seitenlicht auskommen kann, während ihre Feinde, die Unkräuter, auf Oberlicht angewiesen sind.“ Nachdem Kleinstandorte ohne Bodenvegetation wichtig für die Entstehung von Verjüngung sind, rät DIACI (2002) von späten Durchforstungen, die zu viel Licht auf den Boden bringen, ab (DIACI et al. 2005).

Diese Erkenntnis deckt sich mit Erfahrungen BISCHOFFS (1987) in den Schweizer Alpen: „In sehr vielen Gebieten, besonders in hochstaudenreichen Waldungen, führte die mehrmalige Auslese und Bevorzugung einzelner Bäume zu einer diffusen Auflockerung. Die Folge davon war eine starke Verstaudung und gleichzeitig Erschwerung der Verjüngung.“

OTT et al. (1991, 1997) schließen sich hinsichtlich der Verjüngung auf Bergmischwaldstandorten den Empfehlungen von MOSANDL und EL KATEB (1988) an: Bei einer Auflichtung bis zu 60% Überschirmung sollen die Verjüngungspflanzen gesammelt und schließlich durch weitere Auflichtung das Höhenwachstum verstärkt werden. Für höher gelegene Bestände, in denen Wärmemangel zum Minimumfaktor wird, legt man Schlitze an, die schräg in Hangfalllinie nach der Sonne ausgerichtet sind. Diese Vorgehensweise trifft allerdings eher auf Fichtenbestände der subalpinen Stufe zu. WUNDER und BRANG (2003) haben solche Schlitze in der hochmontanen und subalpinen Stufe untersucht: am meisten Fichtenverjüngung fand sich in Schlitzen zwischen 15 und 20 m Breite. Eine Auswirkung der Himmelsrichtung konnten sie nicht nachweisen. SCHÖNENBERGER (2001) empfiehlt, Pflanzungen in Schutzwäldern von Beginn an in Rottenform anzulegen. Auch diese Empfehlung betrifft den subalpinen Bereich.

Baier und Göttlein (2006a, 2006b) geben spezielle Empfehlungen für Fichtenbestände auf flachgründigen kalkalpinen Standorten, insbesondere im Hauptdolomitgebiet. Diese Standorte neigen bei mangelnder Bestockung und ausbleibender Verjüngung zu Humusschwund und Degradation. Generell sollten auf solchen Standorten deshalb bestockungsfreie Phasen, seien sie noch so kurz, vermieden werden. Für den Fall von Kalamitäten durch Föhnstürme oder Borkenkäfer-Befall empfehlen sie eine sofortige Pflanzung von Fichte, Buche und Tanne. Die Pflanzung von Fichte wird dabei an positiven Kleinstandorten empfohlen. Dies sind Standorte in der Nähe von Stöcken und anderen Hindernissen, welche das Schneegleiten verringern sowie in der Nähe von Heidelbeere, welche eine für die Fichte günstige Humusform anzeigt (BAIER und GÖTTLEIN 2006b, BAIER et al 2007a).

2.4.3 Rationalisierung der Eingriffe

Ein großes Problem der Forstwirtschaft im Gebirge ist die Tatsache, dass sehr viele Maßnahmen defizitär ausfallen. „Die Erträge aus Pflegeeingriffen in jüngeren Beständen sowie aus Durchforstungen und Plenterungen in schwierigen Bringungslagen decken oft nicht die Holzerntekosten. In vielen Fällen sind aber Pflegeeingriffe aus waldbaulichen Gründen, insbesondere zur Erhaltung und Verjüngung des Schutzwaldes, unabdingbar notwendig (BAY. STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982). SAUTER (2002) formuliert dies auf der 4. Bergwaldkonferenz zum Bergwaldprotokoll der Alpenkonvention recht drastisch: „...die gegenwärtige Kosten-Erlös-Relation macht jedoch Forstwirtschaft auf 2/3 der Fläche im Gebirge defizitär. Im Klartext: Wir bezahlen drauf und müssen trotzdem ernten.“ Trotzdem ernten muss man beispielsweise in den Bereichen, wo sich ohne Ernte früher oder später massive Defizite in der Schutzwirksamkeit oder Degradation der Bestände ergeben würde. Eine Nulllösung, das heißt, den Wald sich selbst zu überlassen, kann auch generell keine anzustrebende Lösung sein, weil sie hinsichtlich Multifunktionalität und auch CO₂-Haushalt nicht angemessen ist (SCHÜTZ 1996). Deshalb gibt es viele Überlegungen zur Rationalisierung der waldbaulichen Maßnahmen im Gebirge. Vor allem in der Schweiz arbeitet man schon lange an derartigen Konzepten. Ein Ergebnis dieser Bemühungen ist beispielsweise die Wegleitung¹¹ „Minimale Pflegemaßnahmen für Wälder mit Schutzfunktion“ (WASSER und FREHNER 1996) und die überarbeitete Wegleitung „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald“ (NaiS) (FREHNER et al. 2005), deren Ziel es ist, von sämtlichen Maßnahmen in Schutzwäldern zunächst die Wirksamkeit und Notwendigkeit abzuschätzen. Auch im Bereich der Holzernte versucht man stetig, die Maßnahmen im Gebirge zu rationalisieren (OBERMAYER 2005, HABERL et al. 2006).

SCHÜTZ (1996, 1999b, 2004) sieht vor allem in der biologischen Rationalisierung ein wichtiges Prinzip, um Forstwirtschaft effizient zu gestalten und unterscheidet dabei die beiden Teilaspekte „*Naturautomation*“ = Selbststeuerung, natürliche Selbsterneuerung, Selbstdifferenzierung und „*Konzentrationsprinzip*“ = Konzentration der Maßnahmen auf die wichtigsten Elemente. Bei dem Aspekt der *Naturautomation* gilt es hinsichtlich der Resistenz beispielsweise herauszufinden, ob und in wie weit man aufgrund von Selbstdifferenzierung stabilisierende Eingriffe nach hinten, also in einen rentablen Bereich verschieben kann. Dies setzt allerdings Kenntnisse über die vertretbaren Risiken sowie über die Reaktion der Bestände auf verspätete Eingriffe voraus (SCHÜTZ 1996, 1999b). Entscheidend hinsichtlich der Elastizität ist die

¹¹ Wegleitung = schweizerdeutsch für „Anleitung“

Frage, in welchem Umfang die betrachteten Bestände zur natürlichen Selbsterneuerung fähig sind. Findet die Selbsterneuerung in gemischter Form statt, so unterstützt dies wiederum die Selbstdifferenzierung und damit die Resistenz. Dem Konzentrationsprinzip folgend, wird man bei einer Maßnahme zur Erhöhung der Stabilität gezielt die Stabilitätsträger fördern. Eine weitere von SCHÜTZ (1996, 1999b) empfohlene Methode der Rationalisierung, das Abschneiden und Liegenlassen von Entnahmebäumen, verbietet sich in Fichtenbeständen ab einer gewissen Dimension aufgrund der Forstschutzproblematik.

Von systeminhärenter Rationalisierung spricht SCHÜTZ (1996) bei einem Produktionssystem, das in seiner Gesamtheit der biologischen Rationalisierung dient, wie beispielsweise das Plentersystem. Hier lassen sich in günstiger Weise Strukturierung und günstige Produktionsökonomie verbinden (KNOKE 1997, 1998a, SCHÜTZ 1996).

BEBI et al. (2004, 2005) plädieren hinsichtlich Rationalisierung auf eine „Risikobasierte Schutzwaldstrategie“, die ihrer Meinung nach vier entscheidende Aspekte berücksichtigen muss:

1. die Art der zu schützenden Güter, also das Schadenspotenzial
2. die Schutzwirksamkeit, also die „Qualität“ des Schutzwaldes
3. die potenzielle Wirksamkeit von Pflegemaßnahmen inkl. der Unsicherheiten hinsichtlich der Wirksamkeit
4. die Kosten sowie die positiven und negativen externen Effekte der Maßnahmen

Anhand dieser vier Aspekte lassen sich nach Meinung der Autoren Risiken analysieren, mit Wahrscheinlichkeiten versehen und letztlich die Kosten-Wirksamkeit von potenziellen Maßnahmen bewerten. Damit können Prioritäten zwischen verschiedenen Maßnahmen festgelegt werden und öffentliche Gelder gezielter eingesetzt werden.

2.5 Der Forschungsansatz: Anwendung der Methode der Triangulation

Sowohl hinsichtlich der Stabilitätsbeurteilung in Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe als auch hinsichtlich der Sollzustände und der Handlungsempfehlungen auf dem Weg zu diesen Idealzuständen gibt es noch große Unsicherheiten. Viele dieser Handlungsempfehlungen sind zwar plausibel und von Experten mit langjähriger Erfahrung im Gebirgswald erstellt, aber oft sind sie ungenügend wissenschaftlich fundiert (BRANG 2002). Aufgrund der Kenntnislücken bezüglich Auswirkungen der Maßnahmen auf die Stabilität ist letztlich auch die Kostenwirksamkeit der Behandlungen ungeklärt (BRANG et al. 2004). Der Forschungsansatz zur Schließung einiger dieser Kenntnislücken geht einen Weg, der für naturwissenschaftliche Diszipli-

nen ungewöhnlich und ungebräuchlich ist, in anderen Fachdisziplinen wie beispielsweise der Psychologie oder der empirischen Sozialforschung aber seit einigen Jahren als richtungweisend empfunden wird: Dabei werden qualitative und quantitative Analysemethoden miteinander verknüpft. Während man früher in qualitativen und quantitativen Methoden einen Gegensatz gesehen hat (SALDERN 1992), erkennt man inzwischen mehr und mehr die Vorteile eines solchen Vorgehens: „Ein kritischer Blick sieht also Stärken und Schwächen in quantitativen und qualitativen Ansätzen. Daraus folgt, Analysestrategien differenziert dort einzusetzen, wo sie angemessen sind, wo sie ihre Stärken entfalten können, und damit auch nach einer Kombination qualitativer und quantitativer Strategien zu suchen.“ (MAYRING 2001). MAYRING unterscheidet bei der Integration qualitativer und quantitativer Analyse auf der Ebene des Forschungsdesigns verschiedene Modelle, bei denen jeweils der qualitative und der quantitative Bereich unterschiedliches Gewicht haben (vgl. Abb. 2.7).

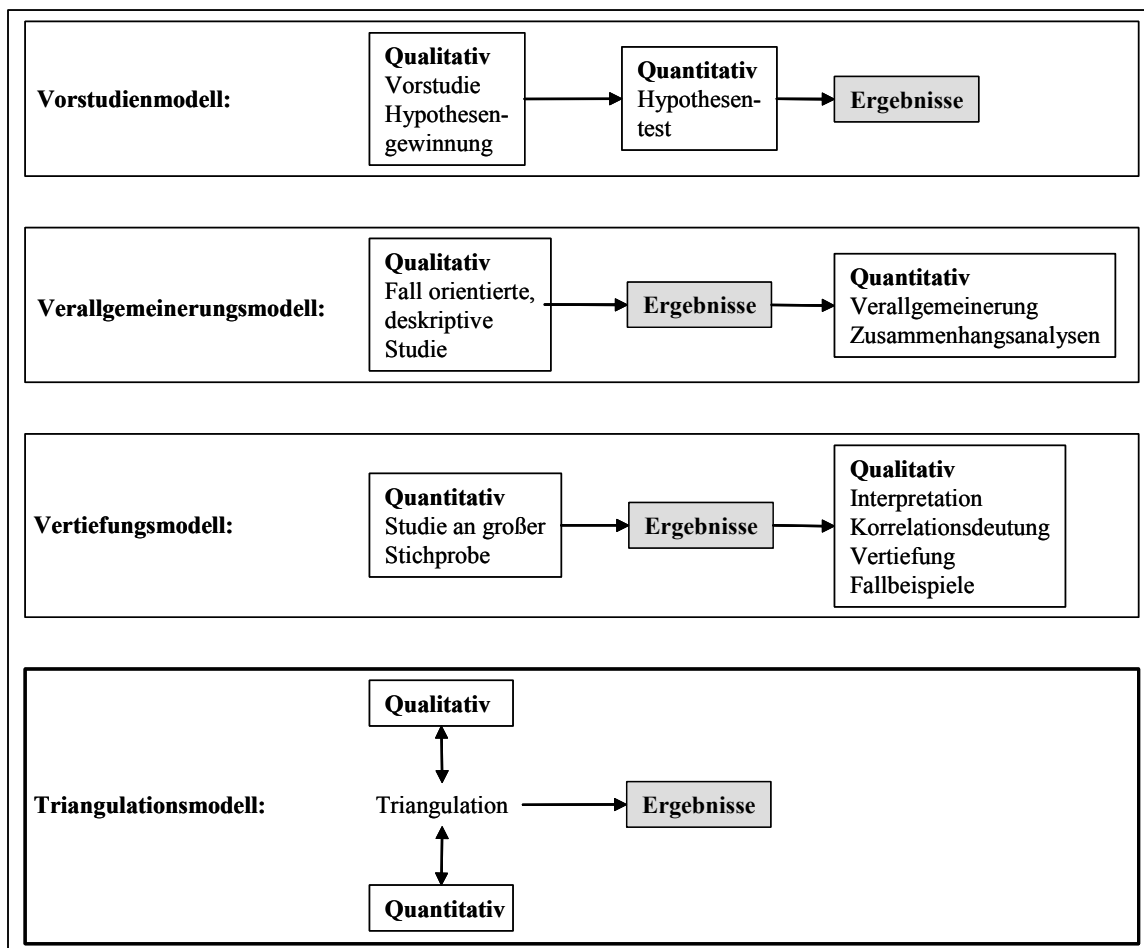


Abb. 2.7: Möglichkeiten der Integration qualitativer und quantitativer Analyse auf der Designebene (WIENERT 2008 nach MAYRING 2001).

Im Rahmen des Vorstudienmodells sind die Qualitativen Analyseschritte auf die Hypothesengewinnung beschränkt. Die gewonnenen Hypothesen werden anschließend quantitativ überprüft. Im Verallgemeinerungsmodell werden qualitativ durchgeführte Fallstudien mit quantitativen Mitteln verallgemeinert und abgesichert. Das Vertiefungsmodell geht umgekehrt vor. Hier werden die Ergebnisse aus einer quantitativen Studie mit großer Stichprobe mittels einer qualitativen Studie vertieft und besser interpretierbar gemacht. Das Modell der Triangulation stellt die komplexeste Verschränkung qualitativer und quantitativer Analyseschritte in einem Analyseprozess dar: Hier wird eine Fragestellung aus mehreren Blickwinkeln mit unterschiedlichen Methoden angegangen. Es geht nicht darum, festzustellen, welcher Analyseansatz die richtigeren Ergebnisse erbringt. Die Resultate sollen sich vielmehr gegenseitig stützen (MAYRING 2001). Die Triangulation ist eine Metapher, die aus der Militärstrategie und der Navigation stammt und meint, durch multiple Bezugspunkte die genaue Position des Objektes bestimmen zu können (KELLE und ERZBERGER 1999, LAMNEK 2005). Aus diesem Bereich wurde der Begriff Triangulation von CAMPBELL und FISKE (1959) und WEBB et al. (1966) in den psychologischen und sozialwissenschaftlichen Bereich übertragen, um zu beschreiben, dass man unterschiedliche Messverfahren und Methoden verwendet (FLICK 2008). DENZIN (1970) unterschied vier verschiedene Arten der Triangulation. Die Daten-Triangulation (Verwendung unterschiedlicher Datenquellen bezüglich des gleichen Gegenstandes), die Forscher-Triangulation (Einsatz unterschiedlicher Beobachter oder Interviewer), die Theorien-Triangulation (Analyse des Gegenstandes im Licht unterschiedlicher Theorien oder Hypothesen) und die Methodologische Triangulation (Triangulation innerhalb oder zwischen Methoden) (LUDWIG-MAYERHOFER 2005, FLICK 2008). JANESICK (1998) schlug darüber hinaus eine „Interdisziplinäre Triangulation“ vor, welche sich der Methoden ganz verschiedener Disziplinen bedient, um für ein breiteres Verständnis zu sorgen.¹² Inzwischen wird die Triangulation auch in anderen Bereichen wie beispielsweise im Bereich „Management accounting“ (Internes Rechnungswesen) eingesetzt (MODELL 2005).

Im vorliegenden Fall wurden zunächst Experteninterviews (qualitativ) und eine retrospektive Feldstudie (quantitativ) kombiniert, um die Wirkungen von waldbaulichen Maßnahmen hinsichtlich Stabilität auf die Fichtenbestände zu analysieren. Diese Kombination kann einerseits als Vorstudienmodell im Sinne MAYRINGS (2001) aufgefasst werden, da Erkenntnisse aus den

¹² Manche Autoren verwenden inzwischen auch eine andere Metapher, um die Nutzung unterschiedlicher Methoden bzw. Perspektiven im Rahmen einer Forschung zu beschreiben. Sie bezeichnen diese Vorgehensweise in Anlehnung an die verschiedenen Facetten eines Kristalles, der zwar eine definierte Form hat, aber immer wieder anders gesehen werden kann, als „Kristallisation“ (RICHARDSON 1994, JANESICK 2003).

Experteninterviews zur Hypothesenbildung für die retrospektive Untersuchung herangezogen werden. Andererseits werden auch Ergebnisse der Befragungen direkt zur Interpretation der Situation in den Fichtenbeständen und zur Ableitung von Handlungsoptionen herangezogen, was dem Modell der Triangulation in Form der „multimethodischen Erfassung desselben Phänomens“ entspricht (ERZBERGER und PREIN 1997, FLICK 1999, KELLE und ERZBERGER 1999, LAMNEK 2005, FLICK 2008). Schließlich kam mit einer ökonomischen Studie eine weitere Methode hinzu, was die Triangulation zu einer Erfassung unterschiedlicher Phänomene (Stabilität, Ökonomie) erweitert, die auf der höheren Ebene „Entscheidung zur Behandlung der Bestände“ ein Ganzes ergeben (LAMNEK 2005).

2.5.1.1 Schritt 1: Experteninterviews (Kap. 3)

Zunächst sollte das Feld der Möglichkeiten in Fichtenreinbeständen der Bergmischwaldstufe möglichst umfassend erkundet werden. Dazu wurden im gesamten bayerischen Alpenraum Experteninterviews durchgeführt. Forstbeamte aus den Bereichen der Betriebsleitung und Betriebsausführung wurden nach Ihrer Einschätzung der Fichtenreinbestände gefragt. Dabei wurden generelle und als problematisch empfundene Eigenschaften der Bestände abgefragt sowie die für am besten gehaltenen Behandlungskonzepte. Ziel der hier durchgeführten Interviews war es, auf Grundlage der Expertenmeinungen die problematischen Entwicklungen in den Fichtenbeständen ganzheitlich zu betrachten. Von den Ergebnissen sollten Anregungen für die Gestaltung einer retrospektiven Untersuchung im Gelände (Schritt 2) sowie direkte konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

2.5.1.2 Schritt 2: Retrospektive Feldstudie (Kap. 4)

Auf die Ergebnisse des ersten Schrittes aufbauend wurde im zweiten Schritt eine retrospektive Feldstudie durchgeführt, um die Auswirkungen von waldbaulichen Eingriffen in den betroffenen Beständen zu untersuchen. Für eine exakte Quantifizierung solcher Maßnahmen hätte es eines langfristigen Versuches mit einem zeitlichen Rahmen ähnlich dem des Bergmischwaldversuches am Lehrstuhl für Waldbau der TU München bedurft. Mangels solcher Langzeitbeobachtungsflächen wurde ein retrospektiver Untersuchungsansatz gewählt. Dabei wurden möglichst *ceteris paribus* behandelte und unbehandelte Bestände verschiedener Altersstufen auf Unterschiede hinsichtlich ihrer Stabilität untersucht.

2.5.1.3 Schritt 3: Finanzielle Bewertung (Kap. 5)

MOSANDL und FELBERMEIER (2001) sehen waldbauliche Maßnahmen als ökosystemare Steuerungseingriffe, die neben ökologischen Faktoren auch menschliche Faktoren wie Sozio-Ökonomie und Technologie mit berücksichtigen müssen. Nur so wird echtes Waldökosys-

temmanagement möglich. Zum selben Ergebnis kommt auch SCHÜTZ (1999b, 2004) bei seinen Überlegungen zu Produktionssystemen in einem veränderten Umfeld. „Dieses Umfeld lässt sich schematisch im Dreiecksgespann zwischen sozialen, ökologischen und ökonomischen Interessen für mehrfache Kombinationen verschiedener Formen von Ressourcen aus dem Wald betrachten. Es geht also bei den heutigen Nutzungen der Waldressourcen darum, eine Multifunktionalität anzustreben, die unter gleichzeitiger Bewahrung der Interessen (bzw. der Rechte) der Eigentümer, sozial und ökologisch gerecht und tragbar ist.“ (SCHÜTZ 2004).

Aus diesen Gründen wurden im dritten Schritt der Untersuchung anhand der in Schritt 2 erhobenen Daten einige Kalkulationen durchgeführt, welche die finanziellen Konsequenzen der Eingriffe in Fichtenbestände der Bergmischwaldstufe aufzeigen sollten. Auf diese Weise sollte – in Anlehnung an eine „Risikobasierte Schutzwaldstrategie“, wie sie von BEBI et al. (2004, 2005) vorgeschlagen wurde – eine bessere Abwägung zwischen Wirksamkeit und Kosten der Maßnahmen ermöglicht werden. Es ist nicht zielführend, ein „optimales“ Stabilisierungskonzept für diese Bestände zu entwickeln, welches so kostspielig und defizitär ausfällt, dass es – wenn überhaupt – nur in sehr geringem Flächenumfang umgesetzt wird. Die Strategie mit dem minimalen Risiko ist nicht immer die geeignetste bzw. kosten-effektivste (GARDINER und QUINE 2000).

Abb. 2.8 zeigt den dreistufigen Forschungsansatz im Überblick.

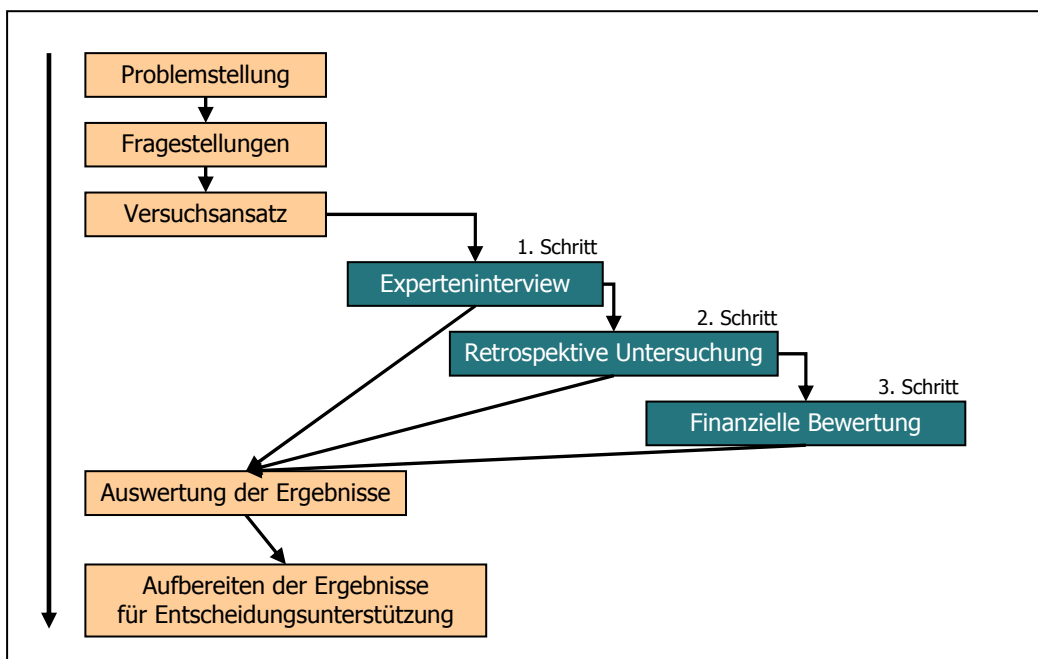


Abb. 2.8: Der dreistufige Forschungsansatz

*Ein kritischer Blick sieht also Stärken und Schwächen in quantitativen und qualitativen Ansätzen.
Daraus folgt, Analysestrategien differenziert dort einzusetzen,
wo sie angemessen sind, wo sie ihre Stärken entfalten können,
und damit auch nach einer Kombination qualitativer und quantitativer Strategien zu suchen*

PHILIPP MAYRING 2001

3 Einschätzung der waldbaulichen Maßnahmen durch forstliche Praktiker (Experteninterviews)

3.1 Stand des Wissens

Die Einschätzung von forstlichen Praktikern hinsichtlich geeigneter waldbaulicher Maßnahmen in Schutzwäldern wurde bisher noch kaum systematisch wissenschaftlich erfasst. In der Schweiz sind in den letzten Jahren Anleitungen zu Pflegemaßnahmen in Schutzwäldern entstanden (WASSER und FREHNER 1996, FREHNER et al. 2005), in die viele Expertenmeinungen eingegangen sind. Allerdings sind hier die Meinungen durch direkte Mitarbeit der Experten oder im Rahmen von Workshops eingeflossen und nicht durch eine sozioempirische Studie erhoben worden.

In einer Untersuchung von HEROLD und ULMER (2001) wurden die Einschätzungen von Experten hinsichtlich künftiger Entwicklungen in Wäldern mit tatsächlichen Ereignissen verglichen. Im Rahmen der Landesforstinventur der Schweiz wird die Bestandesstabilität durch forstliche Aufnahmetrupps anhand der Kriterien „Risikofaktoren“ (9 Einzelkriterien) und „Widerstandsfähigkeit der Bestände“ (11 Einzelkriterien) in 10%-Stufen eingeschätzt. HEROLD und ULMER (2001) untersuchten die Korrelationen zwischen der von Experten prognostizierten Stabilität und Schäden, die im Zeitraum bis zur nächsten Inventur eintraten. Dabei ergaben sich deutliche Übereinstimmungen.

BINDER und BAUER (2006) führten eine Umfrage unter verschiedenen forstlichen Experten hinsichtlich der Situation in Schutzwäldern durch. Dabei kam zum Ausdruck, dass die Experten den optimalen Schutzwald als gestuften, gemischten und ungleichaltrigen Wald charakterisieren. Als besonders wichtig wurde die Verjüngung im Schutzwald angesehen, welche aber entscheidend von der jagdlichen Situation abhängt. Die Schutzwaldpflege wurde als kostenintensiv beschrieben und einige der Forstleute sorgten sich, dass in Zukunft die Pflege möglicherweise nicht mehr durchgeführt werden könne, wenn staatliche Förderungen reduziert würden.

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Erhebungstechnik

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Einschätzungen der forstlichen Praktiker zur Wirksamkeit waldbaulicher Maßnahmen im Rahmen von Experteninterviews ermittelt. Für solche Interviews wird in der Regel eine wenig oder teilweise strukturierte Interviewtechnik

mit einem Gesprächsleitfaden („Leitfadengespräch“) empfohlen (ATTESLANDER 1995, MEUSER und NAGEL 1991, SCHNELL et al. 2005, MIEG und BRUNNER 2001). Die leitfadenorientierte Gesprächsführung wird sowohl dem thematisch begrenzten Interesse des Forschers als auch dem Expertenstatus des Gegenübers gerecht. Leitfadengespräche dienen besonders der Exploration und Hypothesenbildung (SCHNELL et al. 2005) und der Systematisierung vorwissenschaftlichen Verständnisses (SCHEUCH 1973). Eine weitere Funktion des Leitfadengesprächs, die „Ergänzung und Validierung anderer Forschungsinstrumente“ (SCHNELL et al. 2005) ist in der vorliegenden Untersuchung von besonderer Bedeutung.

Solche teilstrukturierte Befragungen bringen allerdings auch gewisse Schwierigkeiten mit sich. SCHNELL et al. (2005) führen folgende Nachteile einer teilstrukturierten Befragung an (zusammengefasst):

1. Höhere Anforderung an den Interviewer und die Notwendigkeit einer besonderen Interviewerschulung; Stärkere Interviewereinflüsse, Abhängigkeit der Datenqualität von der Qualität der Interviewer.
2. Höhere Anforderungen an die Bereitschaft der Befragten zur Mitarbeit und an ihre sprachliche und soziale Kompetenz sowie höherer Zeitaufwand als bei standardisierten Befragungen.
3. geringe Vergleichbarkeit der Ergebnisse und damit schwierigere Auswertbarkeit.

Den genannten Nachteilen wurde wie folgt Rechnung getragen:

- ad 1. Die Notwendigkeit von Interviewerschulungen und die Einflüsse unterschiedlicher Interviewer wurden dadurch vermieden, dass trotz des hohen Aufwandes sämtliche Interviews vom Autor selbst durchgeführt wurden. Laut FRIEDRICH (1990) ist der Interviewer die Kontaktperson des Befragten. Wenn Forscher und Interviewer getrennt sind, kommt es zu einer Kette von Vermittlungen, deren Eigengewicht nur begrenzt berechenbar ist. Diese unberechenbaren Faktoren wurden durch den Verzicht weiterer Interviewer ausgeklammert. Aus diesem Verzicht ergab sich ein weiterer Vorteil: Zwischenfragen konnten stets entlang der Forschungszielrichtung gestellt werden, was ein wichtiger Vorgang bei Leitfadengesprächen ist (ATTESLANDER 2006).
- ad 2. Die genannten Anforderungen wurden durch die Beamten der ehemaligen Bayerischen Staatsforstverwaltung sämtlich erfüllt. Trotz des relativ hohen Zeitaufwandes von ca. 1,5 h zeigten sie eine hohe Bereitschaft zur Mithilfe an diesem Forschungsprojekt. Ein vorzeitiger Abbruch des Interviews aufgrund von Desinteresse oder Zeit-

mangel, wie ihn beispielsweise WAGNER (2004) bei einer Leitfadensbefragung zu Naturgefahren in einigen Fällen beschreibt, war hier in keinem Fall notwendig.

ad 3. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Expertenaussagen wird laut MEUSER und NAGEL (1991) gewährleistet durch den institutionell-organisatorischen Kontext der Interviewten und durch die Verwendung eines Leitfadens. Beide Punkte wurden in der vorliegenden Befragung erfüllt.

Zwei wichtige Grundvoraussetzungen für Experteninterviews sind das Erschließen des Problemfeldes durch den Forscher und die Identifikation von Experten. Diese Aspekte sollen kurz beleuchtet werden:

3.2.1.1 Erschließen des Problemfeldes

Das Experteninterview wird auch unter der Rubrik des „Problemzentrierten Interviews“ subsumiert, bei dem sich der Forscher vor der Interviewphase in die wesentlichen objektiven Aspekte des zu untersuchenden Problems einarbeitet (MAYRING 2002, LAMNEK 2002). Laut MIEG und BRUNNER (2001) muss der Experte im Interviewer einen halbwegs kompetenten Gesprächspartner sehen, der die Fachausdrücke und Grundaussagen kennen muss. Sonst besteht die Gefahr, dass der Experte den Fragesteller als Laien ansieht und versucht, diesem erst einmal die Grundbegriffe des Faches in vereinfachter Form zu vermitteln. Solches Grundwissen lässt sich auch in Lehrbüchern nachlesen und rechtfertigt nicht den Aufwand für ein Experteninterview. Das Vorhandensein von Sachkenntnis auf der Seite des Interviewers ermöglicht ihm durch angemessene Sprach- und Themenwahl eine angeregte Befragungssituation aufrechtzuerhalten.

Das Einarbeiten in die Problematik erfolgte im Wesentlichen durch Literaturstudium und gezielte Waldbegänge.

3.2.1.2 Identifikation von Experten

Wer als Experte angesprochen wird, ist laut MEUSER und NAGEL (1991) abhängig vom jeweiligen Forschungsinteresse. Experten sind nicht Personen, die von außen – im Sinne eines Gutachters – Stellung nehmen, sondern Personen, die selbst Teil des Handlungsfeldes sind, das den Forschungsgegenstand ausmacht.

In der Sozialforschung wird derjenige als Experte identifiziert,

- der in irgendeiner Weise Verantwortung trägt für den Entwurf, die Implementierung oder die Kontrolle einer Problemlösung

- der über einen privilegierten Zugang zu Informationen über Personengruppen oder Entscheidungsprozesse verfügt (Meuser und Nagel 1991)

Nachdem es sich hier nicht um eine sozialwissenschaftliche, sondern eine naturwissenschaftliche Studie handelt, geht es im zweitgenannten Punkt nicht um Informationen über Personengruppen, sondern Informationen über charakteristische Waldbestände.

MEUSER und NAGEL (1991) plädieren dafür, die Experten in der zweiten oder dritten Ebene einer Organisation zu suchen, weil hier in der Regel Entscheidungen vorbereitet und durchgesetzt werden und das meiste und detaillierteste Wissen über interne Strukturen und Ereignisse vorhanden ist. In der vorliegenden Untersuchung wurde ein etwas modifizierter Weg beschritten. Um das Wissen aus möglichst vielen Bereichen zu erschließen, wurden Experten aus fast allen im staatlichen Forstbereich vorhandenen Ebenen befragt (bezogen auf die Strukturen in der Bayerischen Staatsforstverwaltung vor der Forstreform im Jahr 2005). Insgesamt waren 26 Experten beteiligt: der Waldbaureferent am Ministerium sowie ein für die Forsteinrichtung zuständiger Mitarbeiter am Ministerium, der Waldbaureferent an der Forstdirektion, ein Forsteinrichter im Außendienst, ein Mitarbeiter der Fachstelle für Schutzwaldsanierung sowie zu gleichen Teilen Forstamtsleiter und Revierleiter verschiedener Gebirgsforstämter (inkl. Saalforsten und Nationalpark Berchtesgaden).

3.2.1.3 Der Gesprächsleitfaden

Bei dem hier verwendeten Leitfaden wurde gemäß der Einteilung von FRIEDRICH (1990) unterschieden in *Schlüsselfragen*, die auf jeden Fall gestellt wurden und *Eventualfragen*, die nur gestellt wurden, wenn es der Gesprächsverlauf erlaubte bzw. notwendig machte. In der Regel wurde mit offenen Fragen gearbeitet, die dazu geeignet sind, den Gesprächskontakt und das Interesse am Interview zu fördern. Forschungsstrategisch dienen gerade offene Fragen der Erforschung des Problemfeldes im Planungsstadium (ATTESLANDER 1995). Ein weiterer Vorteil der offenen Befragung liegt darin, dass die Interviewten selbst Zusammenhänge und größere kognitive Strukturen entwickeln können (MAYRING 2002), was gerade im Bereich der Behandlungskonzepte für reine Fichtenbestände bedeutsam war.

Nach einer kurzen Einführung in die Thematik des Forschungsprojektes wurden die Experten mit zwei Fragen auf ihre Situation vor Ort hingeführt. Die sehr weit gefasste zweite Frage ließ ihnen die Möglichkeit, alle Problemfelder im Zusammenhang mit den Fichtenbeständen zu nennen.¹³ So wurde geprüft, ob beim Einarbeiten in die Thematik wichtige Aspekte über-

¹³ Der komplette Gesprächsleitfaden ist auf der übernächsten Seite abgedruckt.

sehen wurden. Der folgende Fragenblock zielte auf eine Definition des „problematischen Fichtenbestandes“ durch die Interviewten ab. Damit sollten sie ein wenig geeicht werden, so dass im weiteren Verlauf der Befragung über eine definierte Situation gesprochen werden konnte. Durch diese Maßnahme wurde die Vergleichbarkeit der Interviews erhöht. Ein weiteres Ziel dieses Fragenteils war es, wichtige Kriterien für die Flächenauswahl bei der Felduntersuchung zu sammeln. Auch die Frage zu den standörtlichen Schwerpunkten diente der späteren Flächensuche.

Im vierten Teil des Leitfadens wurde auf die eingangs genannten Problemfelder noch etwas detaillierter eingegangen und die Situation in den Fichtenbeständen genau analysiert. Daraus konnten die Experten schließlich ihre Handlungsempfehlungen ableiten. Nachdem in der retrospektiven Untersuchung nur bereits praktizierte Verfahren untersucht werden konnten, war dieser Fragenblock von entscheidender Bedeutung. Er sollte die gesamte Bandbreite und auch Schwerpunkte bei den Behandlungskonzepten aufzeigen. In diesem Zusammenhang wurde auch eine Frage zu den eingesetzten Ernteverfahren gestellt. Diese sollte die Kostenkalkulationen im Rahmen der ökonomischen Beurteilung (Kap. 5) erleichtern.

Die Bayerische Staatsforstverwaltung und später das Unternehmen Bayerische Staatsforsten unterschieden in ihrem „Betriebskonzept Hochgebirge“ (BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2005) zwischen der Bewirtschaftung von Wirtschaftswald und von Schutzwald. Im Rahmen der Befragung wurde deshalb noch geprüft, ob sich hier gravierende Unterschiede in den Maßnahmen abzeichnen, die in der Feldforschung berücksichtigt werden müssen.

Abschließend wurden noch Fragen zum Erfahrungsumfang der Interviewpartner gestellt, um diese gegebenenfalls noch in verschiedene Gruppen einteilen zu können. Dieser Ansatz wurde aber nicht weiter verfolgt, da sich hier keine entscheidenden Trends ergaben.

Leitfaden zur Expertenbefragung

Einführung:

Vorstellung und kurze Erläuterung des Projektes:

- reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone
- verschiedene Probleme, Tendenz zur Schadensanfälligkeit
- oft steile Lagen, Schutzwald
- Ziel des Projektes: möglichst nah an der Praxis Entscheidungshilfen zur Pflege von Fichtenbeständen liefern

Kernfragen des Projektes:

- Unterscheiden sich bewirtschaftete und unbewirtschaftete Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe in ihrer Stabilität und Schutzbefähigung?
- Wie wirksam sind die verschiedenen eingesetzten waldbaulichen Verfahren im Hinblick auf verschiedene Faktoren?

Befragung:

Eröffnungsfragen:

1. Haben Sie in Ihrem Forstamtsbereich Probleme mit reinen Fichtenbeständen?
2. Worin liegen die Probleme?

Definition „problematischer Fichtenbestand“:

3. Wie würden Sie (im Bezug auf Schutzbefähigung und Stabilität) problematische Fichtenbestände bei Ihnen am Forstamt charakterisieren? Wie sehen sie aus?

Eventualfragen:

- a. Altersklasse?
- b. Wie sieht in den problematischen Beständen das H/D-Verhältnis aus? Ab wann wird es kritisch?
- c. Wie sind die Kronenlängen? Ab wann wird es kritisch?
- d. Wie ist der Kronenschluss/Überschirmungsgrad?
- e. Wie ist die BHD-Spreitung?
- f. gibt es auf diesen Flächen Verjüngung?
- g. gibt es auf diesen Flächen Konkurrenzvegetation?

Räumliche und standörtliche Abgrenzung:

4. Wo liegen diese Bestände?

Eventualfragen:

- a. Geologie?
- b. Standort?
- c. Höhenlage?
- d. Exposition?

Detailliertere Beschreibung der Probleme:

5. Was sind die Risiken in solchen Beständen?

Eventualfragen zur Risikosituation?

- a. Abiotische Schäden durch Sturm, Schneebruch, Steinschlag und Lawinen?
- b. Biotische Schäden durch Insektenbefall?

6. Wie ist der Wildeinfluss/die jagdliche Situation auf diesen Flächen?

7. Wie kommt es zu solchen Flächen?

Eventualfragen zur Pflege:

- a. Pflegerückstand?
- b. Falsche Pflege?

Pflegekonzept:

8. Wie sieht Ihr Konzept für die Bewirtschaftung von Fichtenbeständen aus:?

Eventualfragen:

- a. Ziel?
- b. Eingriffszeitpunkt?
- c. Eingriffsart?
- d. Wird JP durchgeführt?
- e. Eingriffsstärke?
- f. Eingriffshäufigkeit?
- g. Ernteverfahren?
- h. Deckungsbeitrag?

Gibt es Unterschiede in der Behandlung je nach Standort, Situation?

9. Gibt es am Forstamt Beispiele, wo diese Behandlung erfolgversprechend angewendet wird/wurde?

Gibt bei diesen Beispielen Bereiche, in denen sich Pärchen finden lassen:
je 30 x 30 m, behandelt und unbehandelt?

10. Gibt es unterschiedliche Zielsetzungen bezüglich reiner Fichtenbestände?

- a. Wirtschaftswald/Nichtwirtschaftswald?
- b. Schutzwald/Nichtschutzwald?

11. Unterscheiden sich diese auch in der Behandlung?

Fragen zum Interviewten:

12. Wie lange sind Sie schon am Forstamt?

13. Wie lange sind Sie schon im Gebirge tätig?

3.2.1.4 Pilotphase

Während der Pilotphase wurde der Leitfaden zunächst einigen mit dem Projekt vertrauten Personen vorgelegt: Ziel war hierbei vor allem eine inhaltliche Prüfung, ob alle waldbaulich relevanten Fragen abgedeckt sind. Anschließend wurde der Leitfaden noch mit einem erfahrenen Interviewer hinsichtlich der Methodik überprüft. Zuletzt erfolgten zwei Probeinterviews, die allerdings marginale Veränderungen des Leitfadens zur Folge hatten, so dass diese Probeinterviews gemeinsam mit den restlichen ausgewertet werden konnten.

3.2.1.5 Durchführung der Interviews

Die Kontaktaufnahme mit den Experten erfolgte entsprechend der Empfehlung von MIEG und BRUNNER (2001) zunächst durch ein aussagekräftiges Anschreiben und anschließend durch ein persönliches Telefonat, bei dem ein passender Termin vereinbart wurde. Hierbei erfolgte auch eine grobe Information über Ziel und Inhalt des Interviews. Bei einem Interviewpartner konnte die Befragung aus terminlichen Gründen nicht mündlich erfolgen und wurde deshalb alternativ in schriftlicher Form per Email durchgeführt. Alle anderen Interviews wurden in den jeweiligen Büros der Experten (Forstämter etc.) durchgeführt, was den Vorteil hatte, dass gegebenenfalls zusätzliche Informationsquellen wie Revierbücher, Forstbetriebskarten etc. genutzt werden konnten.

Die Dokumentation der Leitfadengespräche erfolgte nicht, wie von MEUSER und NAGEL (2001) vorgeschlagen, durch eine Tonbandaufzeichnung, sondern durch eine genaue Mitschrift während des Gesprächs und eine Ergänzung durch ein Gedächtnisprotokoll direkt im Anschluss an das Interview. Diese Vorgehensweise ist bei Leitfadengesprächen durchaus auch anwendbar (ATTESLANDER 1995, SCHNELL et al. 2005, MAYRING 2002) und wurde aus zwei Gründen gewählt: Zum einen waren nicht der genaue Wortlaut oder gar die Stimmlage der Befragten von Interesse, sondern ausschließlich die Inhalte. Zum anderen sollte das Gespräch möglichst wenig vom Ambiente einer Interviewsituation haben, sondern mehr eine Unterhaltung zwischen Forstleuten zu einem bestimmten Thema sein. Der wichtige Aspekt einer gemeinsamen Sprachebene zwischen Interviewer und Experten war problemlos gegeben, da der Forscher selbst Beamter der Forstverwaltung ist. In den meisten Fällen entwickelten sich die Befragungen nach dem Muster, das MEUSER und NAGEL (1991) als die „wohl häufigste Form des Gelingens“ von Experteninterviews beschreiben. Die Experten zeigten aufgeschlossenes Interesse an der Forschungsfrage und entfalteten ihre Sicht der Dinge. Sie bedienten sich dabei den verschiedensten Darstellungsformen: berichteten, typisierten, rekonstruierten, interpretierten, kommentierten und exemplifizierten. Eine besondere Form des Exemplifizierens ergab sich noch bei einigen Revierleitern. Je nach Zeitbudget wurde die

Gelegenheit eines kurzen Waldbegangs ergriffen. Anhand von aussagekräftigen Waldbildern wurde das im Interview Besprochene verdeutlicht.

3.2.2 Auswertungstechnik

Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an den Vorschlag von MEUSER und NAGEL (1991) (Tab. 3.1)

Tab. 3.1: Sechs Stufen der Auswertung von Experteninterviews nach MEUSER und NAGEL (1991)

1. Transkription
2. Paraphrase
3. Überschriften
4. Thematischer Vergleich
5. Soziologische Konzeptualisierung
6. Theoretische Generalisierung

Eine Transkription entfiel, nachdem die Interviews nicht auf Tonband aufgezeichnet worden waren. Die Handschriftlichen Mitschriften wurden in den Computer übertragen und dabei paraphrasiert.¹⁴ Bei der Bildung von Überschriften ist es laut MEUSER und NAGEL (1991) erlaubt und notwendig, die Sequenzialität des Textes aufzubrechen und inhaltlich zusammengehörige Passagen zusammenzuführen. Es ging hier nicht um eine Einzelfallanalyse, bei der es von Bedeutung ist, wann der Interviewte welchen Aspekt zur Sprache bringt. Deshalb wurde anhand der Leitfragen eine große Exceltabelle erstellt, in welche die während des Interviews unsortiert genannten Aspekte eingeordnet wurden. Diese Vorgehensweise erleichterte auch den anschließenden thematischen Vergleich: Für jeden Experten wurde eine eigene Spalte angelegt. Folglich konnte man innerhalb der Zeile die Aussagen aller Experten zu einer bestimmten Frage vergleichen. Die so aufbereiteten Aussagen wurden den Experten zur Kontrolle und Ergänzung noch einmal zugesandt und anschließend ggf. verbessert. In einem letzten Schritt, der mit dem Schritt der soziologischen Konzeptualisierung verglichen werden kann, wurden die Aussagen in ein Kategoriensystem eingeordnet. Dabei wurde Wert darauf gelegt, dass die Kategorien folgende wichtigen Kriterien erfüllten (ATTESLANDER 1995, FRIEDRICHS 1990, SCHNELL et al. 2005):

¹⁴ Die Paraphrase ist der erste Schritt des Verdichtens von Textmaterial. Dabei werden die Inhalte des Interviews konzentriert und mit eigenen Worten wiedergegeben. Es darf nichts unterschlagen, nichts hinzugefügt und nichts verzerrt werden (MEUSER und NAGEL 1991).

- *Eindeutigkeit*: Jede Antwort kann eindeutig einer Kategorie zugeordnet werden.
- *Ausschließlichkeit*: Keine Kategorie beinhaltet eine andere oder überdeckt sich mit einer anderen.
- *Vollständigkeit*: Alle Antwortmöglichkeiten werden durch die Kategorien erfasst.

Der sechste Auswertungsschritt kann laut MEUSER und NAGEL (1991) entfallen, wenn das Erkenntnisinteresse auf Kontextwissen der Experten und nicht auf Betriebswissen ausgerichtet ist. Das war hier der Fall: Es ging nicht um Erkenntnisse über die Mechanismen der Entscheidungsfindung in Forstbetrieben, sondern um das Erfahrungswissen im Kontext der Fichtenbestände.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Beschreibung der Probleme hinsichtlich reiner Fichtenbestände

Die meisten Experten empfanden reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone als sehr problematisch (Tab. 3.2 und Tab. 3.3).¹⁵ Einige der Befragten beschrieben schon derzeit immer wieder auftretende Kalamitäten, die schlimmeren Zusammenbrüche und Folgen wurden aber noch in der Zukunft befürchtet. Größer als die akute Gefahr ist demzufolge die latente. Einer der Befragten beschrieb die Situation folgendermaßen: „Die Bestände sind im Dickungsstadium eng aufgewachsen, schwach strukturiert und weisen deshalb nur eine Bestandesstabilität auf. Solange sie noch jung und geschlossen sind, erfüllen sie die gewünschten Funktionen. Der Beginn der Verjüngungsphase ist aber zwangsläufig mit Öffnungen des Kronendaches verbunden: dann droht der progressive Zerfall.“ Diese Befürchtung wurde von mehreren Experten angesprochen; insbesondere bei rotwildgeschälten Beständen wurden Probleme erwartet.

Tab. 3.2: Frage: haben Sie in Ihrem Bereich Probleme mit reinen Fichtenbeständen?

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
1	Ja.	23
2	Im Allgemeinen nicht; nur Sonderfälle.	2
3	Reine Fichte kommt im eigenen Einflussbereich fast nicht vor.	1

¹⁵ In den folgenden Tabellen kann die Summe aller Nennungen die Anzahl der Befragten übersteigen, da die Befragten oft mehrere Aspekte nannten.

Tab. 3.3: Problemfelder bei Fichtenbeständen in der Bergmischwaldzone

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
1	Aktuell immer wieder Kalamitäten: Schneebruch, Windwürfe, Käfer.	14
2	Auch wenn derzeit noch intakt, ab bestimmten Zeitpunkt ist progressiver Zerfall absehbar.	23
3	Wenn die Bestände nicht verjüngt sind, bevor der Altbestand ausfällt, ist eine Wiederbestockung mit standortsgerechten Baumarten schwierig.	4
4	Wirtschaftlicher Aspekt: An geschälten Bäumen wächst faules Holz zu. Wertentwicklung problematisch.	9
5	Gefahr für Nachbarbestände (Staatswald wie Privatwald).	2
6	Auf armen flachgründigen Kalkstandorten (Hauptdolomit Südseiten): Fichte sehr mattwüchsig; eingeschränkte Vitalität.	7
7	Einzige Schwierigkeit: gelegentlich Käferprobleme.	1

Im Zusammenhang mit den Kategorien 1 und 2 wurden auch Bedenken hinsichtlich der Funktionserfüllung der Bestände (Hochwasserschutz, Trinkwasserschutz, Schutz gegen Erosion) genannt. Oft wurde auch die wirtschaftliche Problematik einiger Fichtenbestände angesprochen. Die Bäume seien zum Teil im unteren Bereich geschält und oben vom Schnee gebrochen. Stammabschnitte mit offenem Hirschfraß seien nicht einmal zum D-Holz-Preis sondern nur als Industrieholz absetzbar. Gerade im Stammteil mit der größten Masse wachse ein minderwertiges Sortiment zu. Eine Gefahr für Nachbarbestände sah man, wenn nach Kalamitäten im eigenen Betrieb die Gefahr von Windwürfen oder Käferbefall im Umkreis steige. In Kategorie 6 wurde die Problematik auf sehr flachgründigen Hauptdolomit-Südseiten angesprochen, welche in Kap. 2 schon kurz beschrieben wurde. Die Experten prognostizierten hier auch, dass sich die Standorte nach Abgang der Fichten weiter verschlechtern.

Diejenigen Experten, die keine oder wenig Schwierigkeiten in den Fichtenbeständen sahen, begründeten ihre Einstellung folgendermaßen: Die Bestände seien aufgrund der Hangneigung oder aufgrund standörtlicher Wechsel eher besser strukturiert als im Flachland und es gäbe noch genügend einzelne Mischbaumarten aus den Vorbeständen. In den Lücken aus kleineren Kalamitäten entwickle sich deshalb sukzessive eine gemischte Verjüngung. Voraussetzung dafür sei allerdings ein angepasster Wildstand.

3.3.2 Charakterisierung der problematischen Fichtenbestände

3.3.2.1 Alter

Als besonders problematische Altersklassen identifizierten die Experten die Klassen 3 (40-60 Jahre) und 4 (60-80 Jahre) (vgl. Abb. 3.1). In jüngeren Beständen sahen sie noch wenig Disposition zu Schadanfälligkeit. Außerdem wiesen sowohl die jüngeren als auch die älteren Bestände häufig einen höheren Anteil an Mischbaumarten auf.

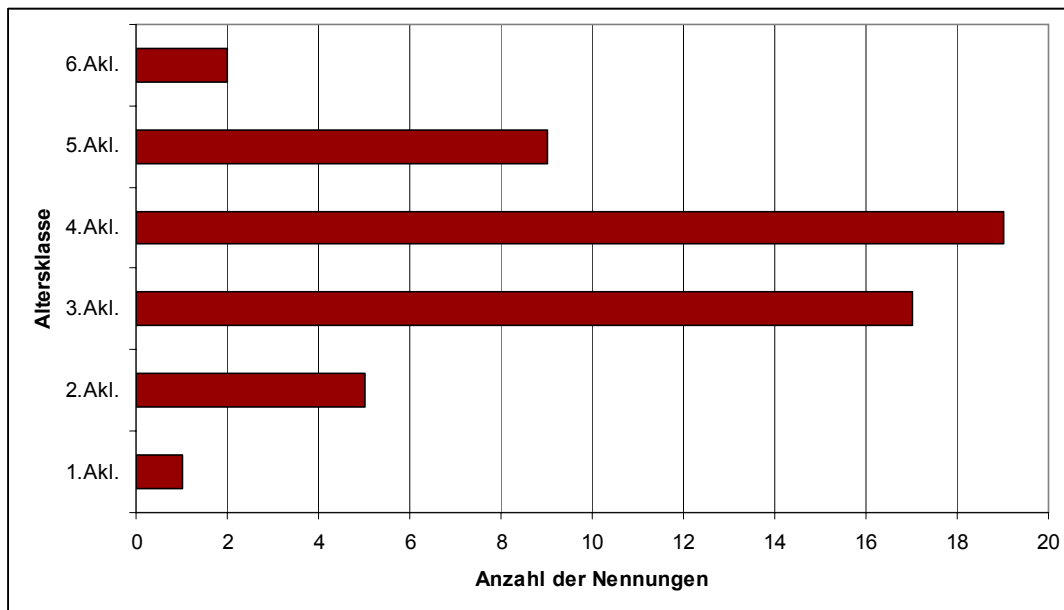


Abb. 3.1: Altersklassen der als problematisch eingestuften Fichtenbestände [20 Jahre]

3.3.2.2 Struktur, Schäden und genetisches Material

Tab. 3.4. zeigt eine Übersicht zu den Einschätzungen der Experten hinsichtlich Struktur, Durchmesserdifferenzierung, h/d-Verhältnissen, Kronenlängen und Schältschäden der Bestände.

Die Frage nach den h/d-Verhältnissen ergab ein eher inhomogenes Bild: Die Einschätzungen von günstig und ungünstig verteilten sich relativ gleich. Einig waren sich die Befragten aber darin, dass sich die h/d-Verhältnisse umso ungünstiger entwickeln, je besser und tiefgründiger der Standort ist. Die Kronenlängen wurden von der Mehrzahl der Befragten als zu kurz angesprochen. Die meisten der Bestände wurden als geschlossen beschrieben, nur in wenigen Fällen kam die Rede auf Bestände, die entweder von vornherein aufgrund kleinstandörtlicher Unterschiede lichter waren oder durch Naturereignisse aufgelichtet wurden. Bei der Höhendifferenzierung wurden häufiger ungünstige Verhältnisse beschrieben (Kategorien 1 und 2 zusammen), bei der Durchmesserdifferenzierung dagegen öfter günstige Verhältnisse.

Tab. 3.4: Strukturparameter der Fichtenbestände und Schälsschäden laut Expertenbefragung

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
h/d-Verhältnisse		
1	Ungünstige H/D-Verhältnisse.	11
2	Unterschiedlich: schlechtere H/D-Werte v. a. auf wüchsigeren Standorten.	4
3	h/d-Werte der Fichten im Bergwald günstiger als im Flachland.	8
Kronenlängen		
1	Relativ kurz/ein Viertel bis ein Drittel der Baumhöhe.	9
2	Relativ lange Kronen.	3
Kronenschluß		
1	Dicht geschlossen.	5
2	Geschlossen, einzelne Lücken durch Schneebruch.	5
3	Licht, teils durchbrochen durch Naturereignisse/Kleinstandorte.	3
Struktur/Höhendifferenzierung		
1	Einschichtig, keinerlei Höhendifferenzierung.	7
2	Nur sehr schwach strukturiert.	8
3	Relativ gute natürliche Differenzierung.	5
Durchmesserendifferenzierung		
1	Geringe BHD-Spreitung.	5
2	Hohe BHD-Spreitung.	7
Schälsschäden		
1	Teilweise geschält.	11
2	Sehr viele geschält.	15

Die Interviewpartner sprachen die Schälsschäden einheitlich als sehr großes Problem an. Lediglich in den geschätzten Flächenanteilen der Schälsschadensbestände unterschieden sich die Antworten (von „zum Teil“ bis „sehr viele“). Der Anteil an geschälten Bäumen innerhalb dieser Bestände wurde immer als problematisch hoch eingeschätzt. Sehr häufig wurden auch Vorschädigungen der Bestände durch Schneebruch genannt. Außerdem beschrieben einige Befragten eine eingeschränkte Vitalität der Fichten. Als Ursachen dafür führten sie Nährstoffmangel auf mageren Standorten oder Rotfäule an. Gründe für Rotfäule seien teils die genannten Schälsschäden, teils Trittschäden von Weidevieh oder auch Beschädigungen durch das freie Treiben bei früheren Holzerntemaßnahmen.

Die Herkunft des genetischen Ausgangsmaterials wurde oftmals als unsicher bezeichnet: „*In den 20er Jahren hat man das Pflanzmaterial waggonweise aus Halstenbek herangeschafft...*“.¹⁶ Auch nach den beiden Weltkriegen habe man Kahlflächen möglichst schnell und „egal wie“ wieder in Bestockung bringen wollen. Falsche Herkünfte wurden als besonders anfällig gegenüber Schneebruch und Windwurf beschrieben.

3.3.2.3 Standorte und Lage

Die Experten waren sich einig, dass die Bestände umso schadanfälliger gegenüber Schneebruch und Windwurf sind, je wuchskräftiger die Standorte sind. Hier wachsen die Fichten besonders gleichförmig auf und vor allem die Windwurfgefahr wird besonders groß. Dies trifft vor allem auf Flyschstandorte zu. Nur zwei der Befragten waren der Meinung, dass in machen Bereichen des Flyschs die Orographie stärker wechsele als auf einigen Kalkstandorten und somit die Fichte dort besser differenziert sei. Neben den Flyschgebieten wurden noch viele weitere geologische Schichten auch im Kalkalpin mit problematischen Standorten genannt: z.B. Raibler Schichten, Roßfeldschichten, Partnachschiefer, Muschelkalk, Wettersteinkalk, Nagelfluh oder auch hochgelegene Grundmoräne.

Als Sonderfall wurden häufig flachgründige Standorte auf Hauptdolomit-Südseiten genannt. Hier führe die rückläufige Vitalität der Fichten zum vorzeitigen Zerfall der Bestände. Aber auch im Bereich des Hauptdolomits, so einige der Befragten, gäbe es viele tiefgründig verwitterte Standorte, auf denen die Fichten vital und gleichförmig aufwachsen.

Zur Höhenlage ergaben die Antworten nur marginale Unterschiede. Im Prinzip wurden alle Höhenlagen der gesamten montanen Stufe als gleich problematisch angesprochen. Erst ab dem Übergang zur subalpinen Stufe wurden die Fichten aufgrund der dort entstehenden Rottenstrukturen als stabiler eingeschätzt.

Auch hinsichtlich der Exposition wurden mit Ausnahme der oben genannten mageren Südseiten keine gravierenden Unterschiede erwähnt. Wegen der unterschiedlichen Schnee- und Windverhältnisse sei eher die Unterscheidung von Luv- und Leelagen wichtig.

3.3.2.4 Risikofaktoren

Als entscheidende Risikofaktoren in den reinen Fichtenbeständen wurden Schneebruch, Windwurf und Borkenkäfer genannt. Schneebruch wurde vor allem bei jüngeren Beständen

¹⁶ Halstenbek ist eine Stadt in Schleswig-Holstein, in der sich bereits im 19. Jhd. das Baumschulwesen stark entwickelte. Bezeichnenderweise trägt Halstenbek drei Tannen mit tiefstreichendem Wurzelwerk im Wappen. Vor der gesetzlichen Festlegung von genauen Herkunftsgebieten wurden von dort sicher Flachlandherkünfte geliefert.

angesprochen. Er sei zwar nicht bestandesgefährdend, aber wertmindernd und ggf. ein Angriffspunkt für Borkenkäfer. Einige der Experten waren der Meinung, dass Schneebruch in jüngeren Stadien unter Umständen positiv zu sehen sei, da die Differenzierung steige. Andere teilten diese Meinung nicht: Die geschädigten Bäume würden sich an andere anlehnen. Wenn man sie nicht beseitige, würde es in den Folgewintern zu weiteren schwereren Brüchen kommen.

Windwurf wurde allgemein als größter Risikofaktor für die Bestände gesehen. Der Borkenkäfer wurde oft als Folgeerscheinung der beiden erstgenannten Faktoren beschrieben. Dabei war ausschließlich vom Buchdrucker die Rede. Der Kupferstecher wurde als unproblematisch eingewertet. Kritisch sei bei Borkenkäferbefall vor allem der verstreute Holzanfall, welcher sich selten kostendeckend bringen lasse. Als Forstschutzmaßnahme sei ggf. Handentrindung empfehlenswert.

3.3.2.5 Verjüngungssituation

In der Regel, so die Experten, seien die Bestände noch so geschlossen und dunkel, dass sich weder Verjüngung noch Konkurrenzvegetation einstellen könne. Allerdings beobachteten einige, dass sich nach Auflichtungen der Bestände die wenigen im Altbestand enthaltenen Mischbaumarten wie Buche, Ahorn oder Tanne verjüngen konnten. Buche sei aufgrund ihres Samengewichtes lokal begrenzt, während Ahorn und Tanne weiter flögen. Als Grundvoraussetzung für die Verjüngung wurden aber ein angepasster Wildbestand und geeignete Belichtungsverhältnisse genannt. Einer der Befragten gebrauchte dabei folgenden Vergleich: *„Für die Verjüngung benötigen Sie zwei Mal den Zeigefinger: erstens am Abzug und zweitens am Lichtschalter.“* Die Lichtverhältnisse müssten so sein, dass die Verjüngung überleben und die Konkurrenzvegetation nicht überhand nehmen kann. Auf sehr wüchsigen Standorten sei die Gefahr des übermäßigen Wachstums von Hochstauden, Farn oder Brombeere, während Kalkstandorte zur Vergrasung neigten.

Die Wildstandssituation sprachen viele Experten als problematisch an. Die früheren sehr hohen Rotwildichten seien ursächlich für den großen Anteil an geschälten Beständen. Vor allem im Hinblick auf Verbiss seien die Wildstände auch heute oft zu hoch und so werde in vielen Bereichen das wichtige Sammeln eines Verjüngungsvorrates unmöglich. Gerade in größeren, relativ dunklen reinen Fichtenkomplexen ohne viel Vegetation wirke eine spärliche Verjüngung wie ein starker Magnet auf das Wild. Mit Rehwild, Rotwild und Gams übten drei Wildarten eine Belastung auf die Verjüngung aus. Über Gräben als Verzahnungen zwischen Wald und felsigen Bereichen drücke auch das Gamswild in den Bergmischwaldbereich. Viele der Befragten äußerten, dass gerade die Verjüngung von Tanne ohne Zaun nur sehr schwer

möglich sei. Dies sei praktisch unmöglich in Bereichen, in denen keine Regiejagd ausgeübt werde. Besonders gefährdet durch Wildverbiss sah man die Südhänge: diese Bereiche würden im Winter früher ausapern und damit in Zeiten eines begrenzten Nahrungsangebotes besonders frequentiert.

Einer der Experten beschrieb den Einfluss des Wildes folgendermaßen: *„Hätten sich alle unsere dort heimischen Baumarten in den letzten vierzig Jahren ungehindert verjüngen können, dann hätten wir heute kein Problem.“*

3.3.2.6 Entstehung der Bestände

Hinsichtlich der Entstehung der reinen Fichtenbestände wurden sowohl Aspekte aus der älteren als auch aus der jüngeren Vergangenheit genannt: Die Fichte sei zum Zweck der Salinenwirtschaft, der Eisernerzgewinnung und weiteren Industrien aktiv gefördert worden. Man habe einen flächigen Waldbau mit Großkahlschlägen oder Saumhieben betrieben. Demnach folgten die heutigen reinen Fichtenbestände oft der Erschließung: Bereiche, die früher schon einfach erreichbar waren, wurden im Kahlschlagbetrieb bewirtschaftet. Einer der Interviewten nannte dazu ein kurioses Beispiel: Man habe sich gewundert, warum auf einem Hochplateau mit sehr steilen Anstiegen ein reiner Fichtenbestand entstanden sei. Bis man schließlich herausfand, dass auf dem Hochplateau ehemals eine Waldeisenbahn bestanden hatte. Das gesamte Holz war auf einen Punkt zusammengefahren und von dort aus abgeseilt worden.

Neben der ehemaligen Bewirtschaftung wurden wieder die zu hohen Wildbestände als entscheidender Faktor für die Entmischung genannt. Im Bereich des Nationalparks Berchtesgaden hätte man beispielsweise um 1800 nach 700 Jahren Salinenbewirtschaftung immer noch einen Tannenanteil von 11% gehabt. 1811 sei das Gebiet dann Hofjagdgebiet geworden. Heute habe man in den Altbeständen noch einen Tannenanteil von 0,7%.

Schematische Anpflanzungen im Rahmen von Almaufforstungen oder besonders nach den Weltkriegen seien ein weiterer Grund für die Entstehung von reinen Fichtenbeständen, so die Interviewten. Die Bestände aus Zeiten des Ersten Weltkrieges seien jetzt im windwurfgefährdeten Alter, Bestände aus der Zeit des Zweiten Weltkrieges noch prädestiniert für Schneebruch.

Als Gründe aus jüngerer Zeit sah man zum einen die aktive Zurückdrängung von Mischbaumarten bis in die 60er Jahre. Buche wurde bis dahin z.T. sogar chemisch bekämpft. Als zweite wesentliche Ursache wurde die mangelnde oder falsche Durchforstung angeführt. Entweder wurden die Bestände niederdurchforstet, natürlich entstehende Rotten wurden

eher aufgelöst – die Bestände wurden weiter homogenisiert, oder man pflegte gar nicht. Erst in den 70er/80er Jahren habe die technische Entwicklung Durchforstungen in den Bereich der Kostendeckung gebracht. Fortschritte in der Erntetechnik reduzierten die Kosten bei der Nutzung von schwächerem Holz, während Entwicklungen in der Sägetechnik die Verarbeitung von schwächerem Holz attraktiver machte.

3.3.3 Bewirtschaftungskonzepte für reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone

3.3.3.1 Zielsetzungen bei der Bewirtschaftung

Im Wesentlichen wurden von den Experten drei Zielsetzungen in unterschiedlichen Kombinationen genannt (Tab. 3.5). Die Altbestände stabilisieren, einen geordneten Übergang zu gemischten Beständen oder eine normale gewinnbringende Bewirtschaftung, soweit die Bestände als nicht besonders gefährdet eingestuft wurden.

Tab. 3.5: Zielsetzungen der Befragten bei der Bewirtschaftung von den Fichtenbeständen

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
1	Altbestände stabilisieren, strukturieren.	12
2	Verjüngung für gemischten, möglichst strukturierten Folgebestand erzeugen.	26
3	Bestände gewinnbringend bewirtschaften.	5

Dabei wurde oft zwischen geschälten und nicht geschälten Beständen unterschieden. Während man bei den geschälten Beständen für eine baldige gemischte Verjüngung plädierte, sah man bei den nicht geschälten eher Chancen zur Stabilisierung oder gar einer geregelten gewinnbringenden Bewirtschaftung. Die Ziele wurden unterschiedlich detailliert beschrieben. Bei der gemischten Verjüngung zielte man in der Regel auf eine Anreicherung mit Buche und Tanne ab. Recht ausführliche Angaben machte ein Beamter aus dem Bereich der Forsteinrichtung: Der Anteil an Mischbaumarten im Folgebestand solle mindestens 30% betragen, aber 50% nicht überschreiten.¹⁷ Ein Mindestanteil an Fichte als immergrüner Nadelbaumart sei einerseits im Hinblick auf Schneegleiten und Lawinen notwendig, andererseits sei ein zu hoher Laubholzanteil im Gebirge auch aus anderen Gründen nicht sinnvoll: Laubholz sei recht anfällig für Schneebruch und die Laubholzbewirtschaftung im Gebirge sei oft defizitär.

¹⁷ Diese Angaben decken sich mit den Antworten aus einer ähnlichen Befragung von BINDER und BAUER (2006).

Das Laubholz sei weniger wüchsig als im Flachland, es seien verhältnismäßig viele Pflegeeingriffe zur Erzielung von qualitativ hochwertigem Holz notwendig und generell könne man im Gebirge weniger Laubwertholz erzielen.

Ein Waldbaureferent beschrieb die gewünschte Mischung und Struktur folgendermaßen: *„...einen Bergmischwald aus standortgerechten Baumarten (zur Fichte die Buche und die Tanne dazu), stabile, femelartige Strukturen, kleinflächige Wechsel, Trupps/Gruppen mit verschiedenen Höhen bis hin zum Gebirgsplenterwald.“*

3.3.3.2 Eingriffsarten

Tab. 3.6, Tab. 3.7 und Tab. 3.8 zeigen die Bandbreite der getätigten bzw. für sinnvoll und notwendig erachteten Maßnahmen getrennt nach Jugendpflege (JP), Durchforstungen und Verjüngungsmaßnahmen. Natürlich wurden von den meisten Experten durchgehende Konzepte vom Jugendstadium bis hin zum Reifestadium entwickelt. Doch diese Konzepte ließen sich nicht vereinheitlichen und übersichtlich darstellen. Deshalb werden im Folgenden die einzelnen Komponenten aufgeführt.

Die Maßnahmen zur Jugendpflege reichen von „nichts tun“ bis hin zu sehr intensiven Eingriffen. In einem Fall wurde ein Abstandsverfahren geschildert, bei dem die Bäume in zwei Schritten auf Abstände von 1,5 m x 1,5 m gestellt werden. Ziel dieser Maßnahme sollte eine Reduktion der Schneebruchgefahr und der Konkurrenz um Wasser sein. Ein anderer Interviewpartner beschrieb einen sehr starken Eingriff zur künstlichen Ausformung von Rotten. Dabei werden Kleinkollektive (Trupps oder Gruppen) so ausgeformt, dass sich ein Innentrauf bilden kann. Der Abstand zum nächsten Kollektiv soll 8-10 m betragen. Auf diese Weise werden bis zu 2/3 der aufstockenden Masse entnommen. Laut diesem Befragten sei der zeitliche Aufwand dennoch nicht besonders hoch (ca. 10 h/ha).

Häufiger wurde aber eine extensive JP im Stil einer Punktpflege propagiert. Zur Verbesserung der Struktur und des h/d-Verhältnisses stabiler Elemente sollten einzelne Bäume, beispielsweise im Abstand von 7 m gefördert werden. Die am häufigsten genannte Maßnahme stellte eine gezielte Förderung von Mischbaumarten dar, z.T. in Kombination mit der zuvor genannten Punktpflege. Einige der Befragten würden eine Jugendpflege in reiner Fichte für sinnvoll erachten, führen sie aber aus Kostengründen nicht durch. Einer drückte besonders drastisch aus, dass er eine JP für richtig hält: *„JP ist natürlich sinnvoll: Sonst wären Schädelin und Leibundgut ja Vollidioten gewesen!...“* Andere Befragte hielten sie für nicht notwendig, da sie der Meinung sind, die Fichtenbestände differenzierten sich ausreichend. Einer schloss

sogar die Mischungsregulierung zu Gunsten von Buche aus, da diese bis zum Alter 50 ohnehin vorwüchsig sei.

Tab. 3.6: JP-Maßnahmen in den Fichtenbeständen

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
1	JP in reiner Fichte nicht notwendig.	5
2	JP in reiner Fichte als sinnvoll erachtet aber aus Kostengründen nicht durchgeführt.	6
3	Extensive JP zugunsten Einzelner („Punktpflege“).	5
4	JP zur Sicherung von Mischbaumarten.	10
5	Abstandsverfahren in 2 Eingriffen.	1
6	Künstliche Anlage von Rottenstrukturen.	1

Tab. 3.7: Durchforstungsmaßnahmen in den Fichtenbeständen

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
1	Negativauslese: „Entrümpeln“, Bäume mit Schälsschäden etc. entfernen.	5
2	Auslesedurchforstung (v. a. nicht geschälte Bestände).	15
3	Trupp-/Gruppenweise Entnahme (v. a. schlechterer).	5
4	Keine Eingriffe bis zur (frühen) Verjüngungsnutzung (v. a. geschälte Bestände).	12

Auch bei den Durchforstungsmaßnahmen gab es eine größere Bandbreite: Diese ergab sich vor allem aus Unterscheidungen hinsichtlich Schälsschadensgraden der Fichtenbestände. Einige der Praktiker nannten als erste Maßnahme eine Art „*Entrümpelung*“, bei der die am schlimmsten geschädigten Bäume zur Erhöhung der gesamten Stabilität entnommen werden. Der Begriff der Auslesedurchforstung wurde nur dann im klassischen Sinne von SCHÄDELIN (1934) verwendet, wenn es um ungeschälte oder kaum geschälte Bestände ging. Vorgebracht wurde er dann vor allem von denjenigen Experten, die unter den Zielen eine gewinnbringende Bewirtschaftung genannt hatten. In vielen Fällen wurde der Begriff Auslesedurchforstung aber modifiziert: Als Z-Bäume werden dann nicht zwangsläufig die stärksten Bäume ausgewählt (z.B. wenn diese geschädigt sind), sondern die wenigen Mischbäume oder stabile, gesunde Bäume. „*Die Auslesedurchforstung ist oft von anderen Aspekten wie Entnahme der am schlimmsten Geschädigten oder Förderung von Mischbaumarten überprägt.*“, so einer der Experten. Ein Teil der Befragten plädierte eher auf eine trupp- oder gruppenweise Entnahme von Kollektiven. Dies sei hinsichtlich Schneebruch- und Windwurfgefahr unproblema-

tischer und ergäbe einen fließenden Übergang zur Verjüngung. Zum Teil wurde darauf hingewiesen, dass man die Bestände aus Sicherheitsgründen besser nicht im Ganzen sondern eher blockweise durchforsten solle.

Vor allem bei stärker geschälten Beständen empfahl man, keine Durchforstungen durchzuführen, sondern im Sinne von Umbaumaßnahmen sehr früh die Verjüngung einzuleiten.

Tab. 3.8: Verjüngungsmaßnahmen in den Fichtenbeständen

Nr.	Kategorie	Anzahl Nennungen
1	Femelhieb.	16
2	Saumfemelhieb.	3
3	Stark geschälte Bestände: Radikaler Umbau.	8
4	Schlitze oder Keile schlagen.	1
5	Sukzession.	1

Die empfohlenen Verjüngungsmaßnahmen lassen sich im Wesentlichen in zwei Hauptgruppen unterscheiden: Zum einen die Maßnahmen mit einer Femelkomponente. Viele der Befragten wiesen explizit darauf hin, dass die Femel nicht auf ganzer Fläche angelegt werden sollten, um den Bestand nicht zur Gänze zu destabilisieren (*„Zonenweise Femel“*, *„Konzentration an Erschließungslinien“*, *„Zwischenbänder unangetastet“*, *„Der Harvester hat eine Reichweite von 20 m. Bei einem Abstand der Erschließung von 30 m entsteht eine längliche Rotte“*, *„Die Femel hauptsächlich auf den Rippen anlegen, um Seitenlicht in die Bestände zu bekommen“*). Um die Struktur im Folgebestand zu erhöhen, wurde manchmal empfohlen, Teile des Altbestandes nicht mehr zu nutzen und einwachsen zu lassen. Lochhiebe wurden wegen der Gefahr der Vergrasung in der Regel abgelehnt.

Zum anderen wurden, hauptsächlich bei stark geschälten Beständen, radikale Umbaumaßnahmen vorgeschlagen. Einer der Praktiker beschrieb diesen Umbau folgendermaßen: *„Es werden 30-50% der Masse entnommen. Zum Teil wird nur noch positiv ausgezeichnet, was stehen bleiben soll. Die am stärksten Geschälten werden entnommen, Altbäume aus dem Vorbestand bleiben stehen, Mischbaumarten werden umlichtet. Teile, wo Harvester oder Seil nicht hinkommen, bleiben unbearbeitet.“* Bei diesen Umbaumaßnahmen werden keine klassischen Verfahren mehr angewandt. Es entstehen teils femelartige Strukturen, teils schirmschlagartige. Von einem Befragten wurde die entstehende Situation als *„parkartig“* beschrieben. Auch hier wurde teilweise ein schachbrettartiges und nicht flächiges Vorgehen empfohlen.

Bei der Verjüngung selbst wollte man möglichst mit Naturverjüngung arbeiten. Je nach Wüchsigkeit der Konkurrenzvegetation oder auch bei mangelnden Samenbäumen wurde zur künstlichen Einbringung von Buche oder Tanne geraten. Die Buche sollte per Pflanzung und aus Gründen der späteren Qualität in Gruppen (20x20 m oder 30x30 m) eingebracht werden, die Tanne eher flächenwirksamer einzeln in Stockachselpflanzung. Einmal wurde auch Tannensaat empfohlen: auf $\frac{3}{4}$ m² Plätzen im Abstand 5x5 m.

3.3.3.3 Eingriffszeitpunkte, -stärken und -häufigkeiten¹⁸

Die genannten Eingriffszeitpunkte differierten deutlich. Gerade bei den Verjüngungsmaßnahmen ergab sich eine große Bandbreite, da einige Interviewpartner ohne Durchforstungen gleich in die Verjüngung einsteigen, während andere gerade bei wenig geschädigten Beständen davon ausgehen, dass zunächst Durchforstungen durchgeführt werden und erst später die Verjüngungseingriffe erfolgen. Weiterhin ergaben sich Unterschiede, nachdem hier wuchsschwächere und wuchskräftigere Bestände zusammengefasst wurden. Dennoch lassen sich anhand der Abb. 3.2 Schwerpunkte ausmachen. Sowohl für Durchforstungen als auch für Verjüngungsmaßnahmen wird das Bestreben deutlich, möglichst frühzeitig tätig zu werden. Hinsichtlich der Durchforstungen liegt der Schwerpunkt der Nennungen bei etwa 40 Jahren, hinsichtlich der Verjüngungseingriffe bei etwa 60 Jahren. Auffällig war der positive Deckungsbeitrag als ausschlaggebendes Kriterium für die frühestmöglichen Eingriffe: 17 der 26 Befragten äußerten, dass Eingriffe zwar so früh wie möglich, aber eben erst ab einem positiven Deckungsbeitrag möglich seien. Einige näherten sich dann über den Entnahmedurchmesser an das Eingriffsalter an, z.B.: *„Bei harvesterbefahrbaren Beständen kann man ab ca. 16-18 cm BHD von einem positiven Deckungsbeitrag ausgehen, bei Seilhieben etwas später.“*

¹⁸ Als Eingriffszeitpunkt wurde immer der Zeitpunkt des ersten Eingriffes für die jeweilige Nutzungsart aufgenommen. Also der erste Durchforstungseingriff oder der erste Verjüngungseingriff. Weitere Eingriffe in derselben Nutzungsart wurden über die Häufigkeit abgebildet.

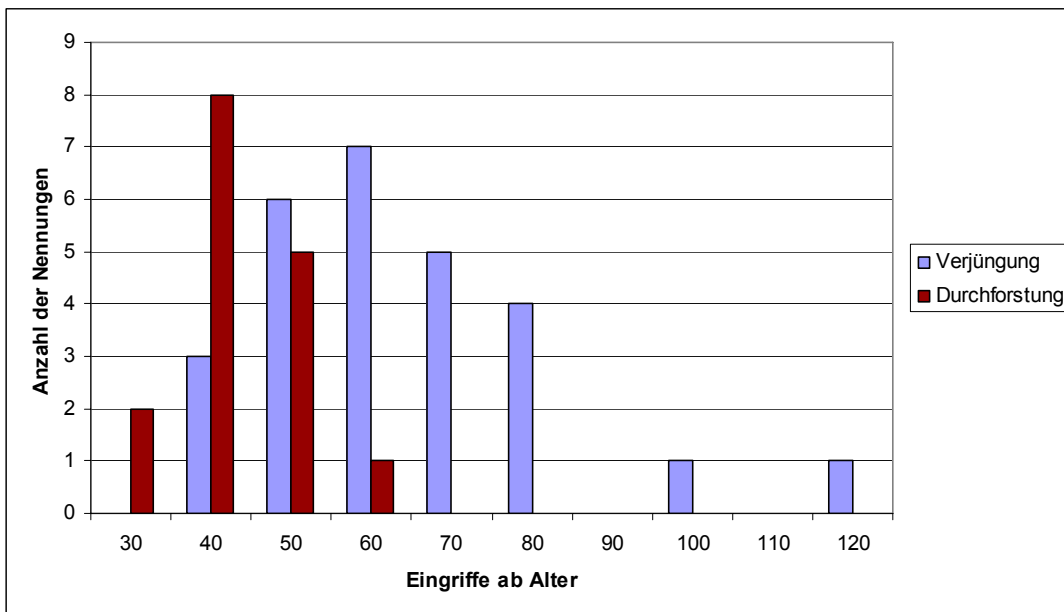


Abb. 3.2: Empfohlene (Erst-)Eingriffszeitpunkte für Durchforstungen und Verjüngungseingriffe

Die oben genannten Gründe für die Spreitung der Angaben treffen zum Teil auch auf die Angaben zu den Eingriffsstärken zu. Zusätzlich sind die Entnahmesätze im Gebirge immer auch etwas vom Ernteverfahren abhängig. Abb. 3.3 und Abb. 3.4 zeigen jeweils die Minimalsätze (dunkle Farben) und die Maximalsätze (helle Farben). Die Entnahmesätze sind für die Durchforstungen (Abb. 3.3) in Erntefestmeter/ha und für die Verjüngungsmaßnahmen (Abb. 3.4) in Prozent angegeben. Für die Durchforstungen ergab sich ein schwerpunktmäßiges Minimum bei 60 fm/ha und ein Maximum bei 90-100 fm/ha.

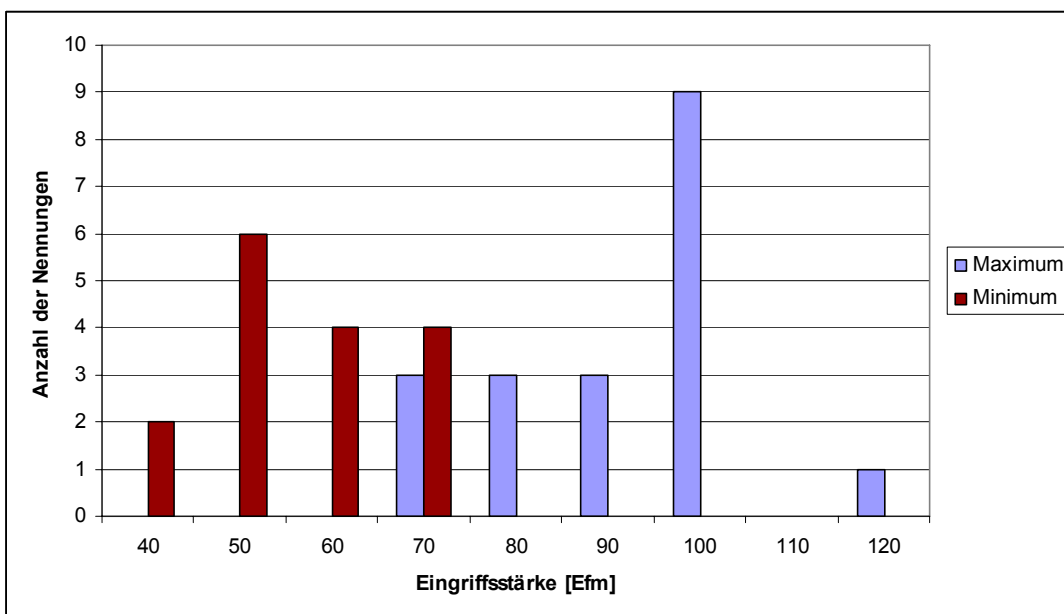


Abb. 3.3: Minimale und maximale Eingriffsstärken bei Durchforstungsmaßnahmen

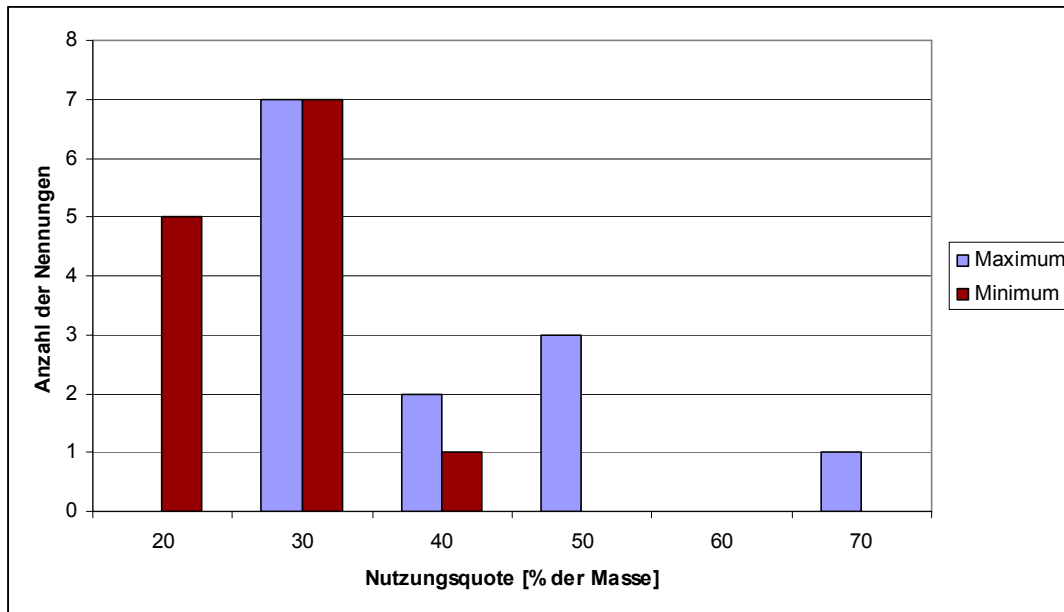


Abb. 3.4: Minimale und maximale Eingriffsstärken bei Verjüngungsmaßnahmen

Bei den Verjüngungsmaßnahmen spiegelt der untere Bereich um die 30% Nutzung die beschriebenen Femelhiebe wider. Hier gaben die Experten oft global 1/3 der Masse als Nutzungsquote an. Die höheren Maxima spiegeln die starken Umbaumaßnahmen wider.

Hinsichtlich der Eingriffshäufigkeiten wurde im Mittel ein Intervall von 10 Jahren genannt. Bei besonders wuchskräftigen Standorten tendierten die Befragten zu etwas kürzeren Intervallen (8 Jahre), bei weniger wuchskräftigen oder auch weniger gefährdeten zu längeren: 15-20 Jahre. Die längeren Zeiträume wurden auch für schlecht erschlossene Bestände angegeben. Einer der Befragten verglich die Notwendigkeit regelmäßiger Eingriffe mit der Notwendigkeit des Haare Schneidens. Auch da sei man immer wieder überrascht, wie rasch der Besuch beim Friseur wieder fällig ist.

3.3.3.4 Ernteverfahren

Vollmechanisierte Ernteverfahren wurden von den Befragten bevorzugt. Wo es die Erschließung zulässt, setzt man Harvester, auch Steilhangharvester oder Schreitharvester ein. Auch kombinierte Verfahren wie das Laubauer Verfahren (HABERL et al. 2006) kommen zum Einsatz. In steilerem oder unerschlossenem Gebiet wird bevorzugt Ganzbaumseilung durchgeführt, sonst motormanuelle Aufarbeitung mit konventioneller Seilung, notfalls auch in Bergabseilung.

3.3.4 *Schutzwald und Wirtschaftswald im Vergleich*

Grundsätzlich merkten einige der Experten an, dass die problematischen reinen Fichtenbestände oft eher im Bereich des Wirtschaftswaldes liegen: Sind sie doch vor allem dort entstanden, wo man früher schon Zugang hatte und Nutzungen tätigen konnte. Weiterhin wurde oft geäußert, dass sich reine Fichtenbestände in steilen Schutzwaldlagen oft besser differenzieren und weniger problematisch sind als in flacheren Lagen.

Was die Bewirtschaftung anbelangt, so die Experten, gäbe es Bereiche, in denen der Schutzwald extensiver bewirtschaftet würde und andere, in denen man intensiver eingreifen müsse als im Wirtschaftswald.

Extensivere Bewirtschaftung finde überall dort statt, wo die Schutzfunktionen nicht gefährdet seien. Dort finde keine Ernte zur Erwerbswirtschaft statt, die Verjüngungsgänge seien länger, man würde größere Anteile des Altbestandes einwachsen lassen. Vorausgesetzt, es liege keine Gefährdung der Schutzfunktion vor und die Forstschutzsituation lasse ein solches Vorgehen zu, könne man sich auch vorstellen, Bestände einfach zusammenbrechen zu lassen. Eine solche Extensivierung im Sinne von nur minimalen Maßnahmen und ansonsten sich selbst überlassen lehnten allerdings einige Befragte ab. Sie gaben an, den Schutzwald genau so „fit“ halten zu wollen wie den Wirtschaftswald. Sofern die Bestände erschlossen seien, würde man sie ähnlich behandeln.

Eine intensivere Bewirtschaftung finde in all den Schutzwäldern statt, in denen (auch defizitäre) Maßnahmen zur Erhaltung von Schutzfunktionen unerlässlich seien. Solche Maßnahmen müsse man dort durchführen, während man sie im Wirtschaftswald teils unterlasse. Im Schutzwald müsse man beispielsweise größere Anstrengungen unternehmen, um die Bestände zu strukturieren und um Mischbaumarten einzubringen. Im Wirtschaftswald dagegen sei ein nennenswerter Fichtenanteil lukrativ und durchaus gewollt. Manche Experten gaben aber zu bedenken, dass auch im Schutzwald der Anteil an immergrünen Nadelhölzern und damit der Fichtenanteil nicht zu stark absinken dürfe.

3.4 Diskussion

3.4.1 *Methode*

Nachdem es sich bei dem Untersuchungsobjekt um ein sehr heterogenes Kollektiv an Beständen handelt, auf welches verschiedene Einflussfaktoren einwirken, war ein Leitfadenterview sicher das richtige Erhebungsinstrument: Nur so hatte der Befragte die Möglichkeit, die verschiedenen Randbedingungen mit anzugeben, die er bei der Beantwortung der Fragen

berücksichtigte. Es fand also während des Interviews ein ständiger Vorab-Kategorisierungsprozess durch die Befragten statt, welcher sehr hilfreich für die spätere Auswertung war. ATTESLANDER (2006) bezeichnet solche Vorgänge bei Leitfadengesprächen in Anlehnung an HOPF (1978, zit. nach ATTESLANDER 2006) auch als „Prozess permanenter spontaner Operationalisierung“. Ein einfacher schriftlicher Fragebogen mit geschlossenen Fragen hätte dies beispielsweise nicht leisten können. Trotz dieses ständigen Abstimmungsprozesses zwischen Interviewer und Experten, stellte die Vergleichbarkeit an einigen Punkten der Auswertung ein Problem dar. Das wird beispielsweise an den genannten Strukturparametern deutlich, die stellenweise weit auseinander liegen. Allerdings erfüllte der erste Teil des Leitfadens durchaus seinen Zweck: Durch das Definieren der besprochenen Bestände stellte sich die gewünschte „Eichung“ der Befragten ein, was die Interpretation der später genannten Behandlungsverfahren erst ermöglichte.

Das persönliche Interview vor Ort hatte nebenbei auch den Vorteil, Kontakte für die folgende Feldstudie knüpfen zu können, Bestände zu sichten und mit den Praktikern über potenzielle Untersuchungsflächen zu sprechen.

Eine interessante methodische Erweiterung wäre eine Befragung im Stil der „Delphi-Methode“ gewesen (ATTESLANDER 2006): Dabei werden den Experten bei einer weiteren Befragung die Ergebnisse, Schätzungen und Widersprüche aus der vorhergehenden Fragerunde zur Verfügung gestellt. Mit den reinen Fichtenbeständen haben die Forstleute nämlich ein gemeinsames Problem, das in den meisten Fällen aber nicht gemeinsam gelöst wird: Jeder Experte entwickelt seinen eigenen Lösungsweg. In der Zusammenschau mit den Aussagen der Anderen wären möglicherweise noch interessante zusätzliche Informationen, Meinungen, Erfahrungen zu Tage gekommen. Mit Rücksicht auf den zusätzlichen Aufwand wurde diese Erweiterung aber unterlassen. Die Delphi-Methode dient vor allem der Absicherung bei unsicherer Erkenntnislage. Solch eine Absicherung ist in der vorliegenden Arbeit über die Kombination mit anderen Methoden gegeben.

3.4.2 Inhalte

Nachdem die Ergebnisse dieses Teils aus Erfahrungswissen und nicht aus Messungen entstanden sind, mögen sie für den Naturwissenschaftler eventuell zu unpräzise erscheinen. Doch ergaben sich wertvolle Hinweise und Zusammenhänge, die auch in den weiteren Teilen der Untersuchung berücksichtigt wurden.

Die Problemfelder im Zusammenhang mit den reinen Fichtenbeständen wurden sehr klar beschrieben und verdeutlichen die Aspekte, die zur Initiative für diese Untersuchung geführt

haben. Es wurden hauptsächlich Bedenken geäußert, welche die Resistenz der Altbestände betreffen. Der Aspekt der Elastizität wurde zwar bei den Problemfeldern weniger angesprochen (nur vier Nennungen bei der Kategorie „Wiederbewaldung“), nahm dafür bei den vorgeschlagenen Behandlungen eine wesentlich bedeutendere Stellung ein. Alle 26 Experten sprachen bei der Zielsetzung von der Erzeugung eines gemischten Folgebestandes, während weniger als die Hälfte von einer Erhöhung der Resistenz sprach. Dieser Trend bestätigte sich bei den vorgeschlagenen Maßnahmen. Offensichtlich hegen einige Experten keine große Hoffnung mehr, die Resistenz der Altbestände nennenswert steigern zu können und setzen deshalb früh auf eine Steigerung der Elastizität. Die einzige Strategie zur Verbesserung der Resistenz, welche sich auch bei diesem Teil der Befragten findet, könnte man als „passive Steigerung der Resistenz“ oder „passive Stabilisierung“ bezeichnen: Es ist der Versuch, durch Entnahme der potenziell instabilsten, beispielsweise geschälten Elemente, die Resistenz des Gesamtkollektivs zu erhöhen. Zu welchen Effekten die Eingriffe tatsächlich führen, sollte die anschließende Feldstudie (Kap. 4) näher beleuchten.

Ein Vergleich der Experteneinschätzungen mit den Ergebnissen aus der Feldforschung wird zeigen, ob die forstlichen Praktiker die Fichtenbestände hinsichtlich ihrer Eigenschaften richtig einschätzen und ob sie daraus die richtigen Schlüsse für ihr Behandlungskonzept ziehen. Bei Expertenbefragungen besteht nämlich immer auch die Möglichkeit, dass bestimmte Antworten nicht auf echter Erfahrung, sondern auf kollektiven Mythen beispielsweise aufgrund der gleichen Ausbildung basieren. So ein Effekt deutete sich zum Beispiel bei der bevorzugten Eingriffsart in Durchforstungen an: Während bei den Beamten des höheren Dienstes eher eine Neigung zu Z-Baum orientierten Eingriffen erkennbar war, zeigte sich bei den Beamten des gehobenen Dienstes eine Tendenz zu Gruppendurchforstungen. Auch wenn die Entscheidungen immer durch andere Aspekte wie Schältschäden an den Bäumen überprägt waren, zeigten sich hier die unterschiedlichen Schulen von Universität und Fachhochschule. Vor dem Hintergrund der weiteren Ergebnisse wird die Frage der Eingriffsart am Ende der Arbeit noch diskutiert werden.

3.4.3 Folgerungen für den Aufbau der retrospektiven Feldstudie

Sowohl beim Alter der als problematisch eingestuften Bestände als auch bei den als sinnvoll erachteten Eingriffszeitpunkten ließen sich Schwerpunkte ausmachen. Nahm man aber die äußeren Rahmenwerte, so ergab sich eine relativ weite Spanne von ca 30-90 Jahren für die Bestände. Dieser Umstand legte es nahe, in der Feldforschung auch einen breiten Altersrahmen abzudecken.

Aus den Aussagen zu den Standorten konnte der Schluss gezogen werden, dass für die Versuchsflächen eher wüchsige Bereiche sowohl im Kalkalpin als auch im Flysch in Frage kommen. Mattwüchsige Standorte auf Hauptdolomit-Südseiten wurden zwar als zweites Problemfeld angesprochen, aber zu diesem Themenbereich gibt es eine aktuelle Untersuchung am Lehrstuhl für Waldernährung der TU München (BAIER und GÖTTLEIN 2006a, 2006b, BAIER et al. 2007a). Deshalb wurden diese Bereiche in der Feldstudie nicht explizit berücksichtigt. Nachdem sich außer diesem Sonderfall keine Schwerpunkte bezüglich Exposition oder Höhenlage ergaben, konnten die Forschungsflächen in einem relativ weiten Bereich gesucht werden.

Hinsichtlich der für die Resistenz wichtigen Strukturparameter der Bestände ergab sich wie beschrieben ein heterogenes Bild. Dazu kam, dass einige der Forstleute wenige Chancen sahen, diese mittels Durchforstungseingriffen zu verbessern. Infolgedessen musste in der Feldforschung unbedingt geprüft werden, in welchen Bereichen die Strukturparameter liegen und welche Auswirkungen Durchforstungsmaßnahmen auf diese Werte haben.

In den Interviews wurden als Ziel der waldbaulichen Maßnahmen sowohl die Erhöhung der Resistenz der Altbestände genannt als auch die Verbesserung der Elastizität durch Förderung von gemischter Verjüngung. Das unterstützte die Absicht, beide Aspekte in die retrospektive Untersuchung einzubeziehen.

Die Unterscheidung zwischen Schutzwald und Wirtschaftswald auf Ebene der Behandlungsstrategien war nicht besonders eindeutig und fand deshalb keinen Eingang in das Forschungsdesign.

3.4.4 Folgerungen für die finanzielle Bewertung

Ein auffälliges Ergebnis stellte die Fixierung vieler Befragter auf einen positiven Deckungsbeitrag der getätigten Maßnahmen dar. Im Bereich der Durchforstungen oder frühen Verjüngungsmaßnahmen wurde in der Regel darauf geachtet, erst dann einzugreifen, wenn der Deckungsbeitrag positiv ausfällt. Zwangsläufig defizitäre Maßnahmen wie die Jungbestandspflege wurden in einigen Fällen, obwohl für sinnvoll erachtet, aus Kostengründen zurückgestellt. Wenngleich von vielen angeführt wurde, dass solche Maßnahmen im Schutzwald auch bei negativer Bilanz durchgeführt würden, konnte man solche Flächen kaum vorweisen. Unter Umständen sind die Handlungsoptionen hier von vornherein durch haushaltsmäßige Vorgaben eingeschränkt. Deshalb sollte die finanzielle Auswirkung dieser Maßnahmen bezogen auf das gesamte Bestandesleben in einer ökonomischen Betrachtung (Kap. 5) genauer untersucht werden.

Von Bedeutung für die ökonomische Beurteilung sind auch die genannten Ernteverfahren. Aufgrund unterschiedlicher Erschließungsqualität der Bestände ergibt sich hier eine große Spreitung von relativ günstigen Verfahren wie dem Laubauer Verfahren bis zu sehr teuren Maßnahmen wie der Bergabseilung. Diese Bandbreite musste bei den Kalkulationen berücksichtigt werden.

*Das erste Umtriebsdrittel hindurch in dichtem, gleichmäßigem, überspanntem Schluß
Fichte eng an Fichte gedrängt und dadurch vorzeitig und hoch hinauf schafrein gemacht
- das ist das Krebsübel unserer Fichtenwirtschaft.*

KARL REBEL 1924

4 Retrospektive Feldstudie zur Wirksamkeit der waldbaulichen Maßnahmen

4.1 Vorhandenes Wissen über resistenz- und elastizitätsbeeinflussende Faktoren

4.1.1 Studien zu resistenzbeeinflussenden Faktoren

Es gibt eine Vielzahl von Studien zu Faktoren, welche die Resistenz von Waldbeständen gegenüber Sturmschäden, Schneebruch und Borkenkäferkalamitäten¹⁹ beeinflussen. Dabei spielen nicht nur Einzelbaum- und Bestandesmerkmale eine Rolle, sondern auch Standortbedingungen, meteorologische und biotische Situation sowie Bewirtschaftungsmaßnahmen (MÜLLER 2002). Abb. 4.1 zeigt diese Faktorenkomplexe mit den wichtigsten Faktoren.

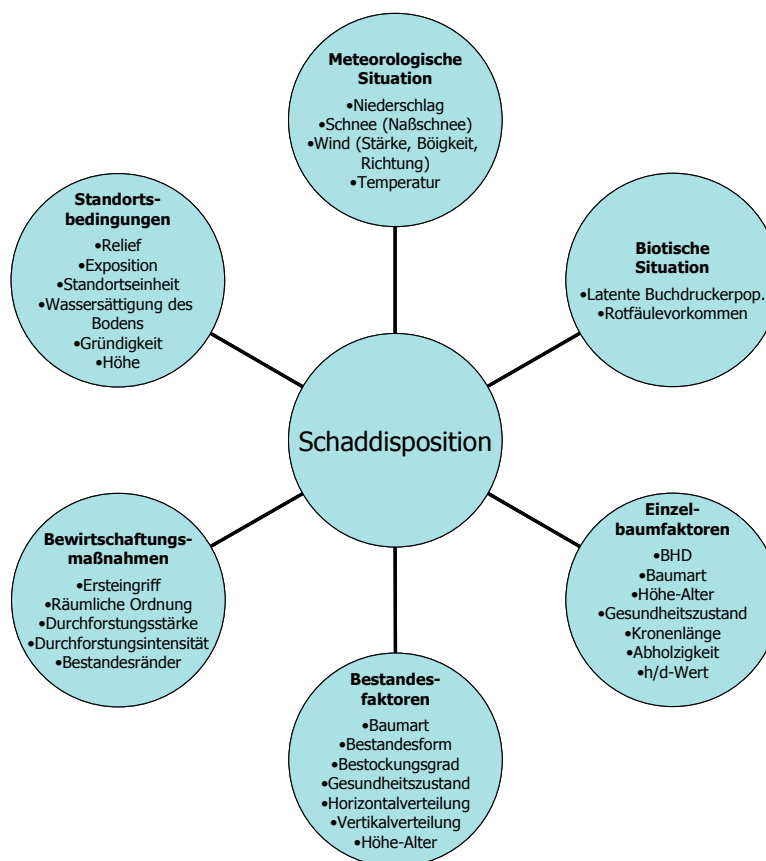


Abb. 4.1: Einflussfaktoren für Kalamitäten nach MÜLLER (2002), verändert

¹⁹ Hinsichtlich der Stabilität von Fichtenbeständen spielen auch Borkenkäfer-Kalamitäten eine entscheidende Rolle. Wie im Kapitel 2 beschrieben, treten diese oft im Gefolge von Schneebrüchen oder Windwürfen auf. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Resistenz gegenüber Borkenkäferbefall aber nicht direkt behandelt.

Will man die Ursache-Wirkungs-Beziehungen von Sturm- und Schneeschäden ergründen, dann muss man die hier wirksam werdenden Faktorenkomplexe in ihrer Gesamtheit betrachten. Einen wichtigen Anteil haben die meteorologischen Verhältnisse wie Windstärke und Böigkeit (MAYER 1985) in Verbindung mit standörtlichen Gegebenheiten wie Durchwurzelbarkeit, Gründigkeit, Bonität und Wassersättigung des Bodens zum Zeitpunkt des Sturmereignisses. Staunasse und wechselfeuchte Standorte gelten als besonders sturmgefährdet. Mittel- oder flachgründige Böden sind weniger gefährlich als wuchskräftige Böden mit höheren Bonitäten und somit auch größeren Baumhöhen (SCHMID-HAAS und BACHOFEN 1991, KÖNIG 1995). Die Windwurfgefahr ist besonders hoch, wenn die Böden nach hohen Niederschlägen oder Tauwetter wassergesättigt sind (KÖNIG 1995, INDERMÜHLE 2005, CLASEN et al. 2008). Dann lässt die Verankerung aufgrund schwindender Adhäsionskräfte nach (NIELSEN 1991). Laut MAYER et al. (2005) bergen saure Standorte eine höhere Sturmwurfgefahr als basischere.²⁰ Ein höherer Tongehalt im Oberboden steigert die Windwurfgefahr (REDDE 2002, REDDE und v. LÜPKE 2004). Steilere Hänge sind weniger gefährdet als flachere (<20°) und Ebenen (SCHMID-HAAS und BACHOFEN 1991, DOBBERTIN et al. 2002, SCHÜTZ et al. 2006).

Für die hier vorliegende Untersuchung sind primär die waldbaulich beeinflussbaren Faktoren von Bedeutung: also die Einzelbaum- und Bestandesfaktoren sowie die Bewirtschaftungsmaßnahmen. Im Folgenden werden anhand von Literaturstudien wichtige waldbaulich beeinflussbare Faktoren aufgezeigt.²¹ Die Ergebnisse der Literaturstudien hatten direkten Einfluß auf die in der Feldstudie untersuchten Parameter.

4.1.1.1 Studien zu einzelnen Einflussfaktoren

4.1.1.1.1 Einzelbaumfaktoren

h/d-Verhältnis: Das h/d-Verhältnis ist anerkanntermaßen ein Weiser für Stabilität gegenüber Schneebruch (ABETZ 1976, ROTTMANN 1985, THOMASUS 1988b, MARSCH 1989a, 1989b). Mit sinkendem Schlankheitsgrad nimmt die Tragfähigkeit des Baumes zu. Hinzu kommt, dass bei niedrigeren h/d-Verhältnissen der Anteil an letalen Stammbrüchen gegenüber ausheilbaren Gipfelbrüchen zurückgeht (ROTTMANN 1983, 1985). Als Schwellenwert von größeren zu relativ geringen Schneebruchschäden wird in der Literatur häufig ein Schlankheitsgrad von 80 an-

²⁰ Vgl. auch MÜLLER (2000, 2002).

²¹ Siehe außerdem zusätzlich die umfassenden Literaturanalysen bis zurück ins 19. Jhd. bei ROTTMANN (1985, 1986) sowie die Zusammenstellungen bei KÖNIG (1995) und MÜLLER (2002).

gegeben.²² BACHOFEN und ZINGG (2000, 2001, 2005) stellten im Rahmen einer Untersuchung von subalpinen Fichtenbeständen bei Fichten mit einem Schlankheitsgrad unter 80 fast keine Gipfelbrüche mehr fest, während bei schlankeren Fichten häufig Brüche zu finden waren. Laut THOMASIIUS (1988b) und MARSCH (1989a, 1989b) steigt mit einer Verringerung des h/d-Verhältnisses von 100 auf 70 die Belastbarkeit von Fichten gegenüber Schneelast um nahezu das Fünffache. Allerdings ergeben sich solche Verbesserungen erst nennenswert unter einem h/d von 90. Hinsichtlich der Windbelastung sahen sie dagegen nur einen sehr eingeschränkten Einfluss des Schlankheitsgrades auf die Stabilität. Zwar seien Bäume mit niedrigerem h/d-Verhältnis bei gleichem Schlussgrad stabiler, dieser Effekt sei aber deutlich vom Kronenschluss überprägt. Bei einem Baum mit Schlankheitsgrad 90 im voll geschlossenen Bestand träten geringere Biegespannungen auf als bei einem Baum mit Schlankheitsgrad 70 im aufgelichteten Bestand (vgl. Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Biegespannungen σ_B (KN/cm²) in 4 m Schafthöhe bei 28 m hohen Fichten und einer Windgeschwindigkeit von 25 m/s in 30 m Höhe (nach MARSCH 1989a)

Schlankheitsgrad	Kronenschlussgrad		
	0,8	0,4	0,0
70	1 200	3 000	6 400
80	1 600	3 700	8 000
90	2 100	4 700	10 000
100	2 800	6 000	13 000

Eine ganzheitliche Stabilitätsbetrachtung darf demnach nicht nur den Einzelbaum sehen, sondern muss auch den Bestand mit einbeziehen. (Kollektive Stabilität contra Einzelbaumstabilität).²³ Sonst müsste man den Anspruch hinsichtlich h/d-Verhältnissen deutlich höher setzen. MATTHEK et al. (2003) stellten bei Solitären und anderen sehr frei stehenden Bäumen eine deutliche Zunahme von Sturmschäden ab einem h/d-Verhältnis von mehr als 50 fest.

NIELSEN (1990) hält das h/d-Verhältnis als Stabilitätsweiser gegenüber Sturm für ungeeignet, da es nichts aussage über das Verhältnis von Stammmasse zu Wurzelmasse der Wurzeln von 1-20 mm Durchmesser, welche für die Verankerung besonders wichtig sind. Bäume mit glei-

²² vgl. Literaturanalyse bei ROTTMANN (1985). Rottmann selbst geht von einem dramatischen Anstieg der Schäden ab einem h/d-Wert von 90 aus.

²³ vgl. WAGNER (1914, S. 213): „Das Einzelindividuum besitzt also, im geschlossenen Bestand erzogen, geringere Standfestigkeit, es ist aber trotzdem nicht besonders sturmgefährdet, solange es unter denselben äußeren Bedingungen bleibt, unter denen es erwachsen ist, die Gefahr steigert sich erst mit Aenderung dieser Bedingungen“

chem h/d-Wert könnten ganz unterschiedlich gut verankert sein. PREUHLER (1991) stellte bei einer Untersuchung auf der Münchner Schotterebene tendenziell höhere Windwurfanteile bei Bäumen mit niedrigerem h/d-Verhältnis fest. Er folgerte daraus, dass die vorherrschenden Bäume trotz des niedrigeren Schlankheitsgrades die höhere Windbelastung durch ihre große Krone nicht ausgleichen können. SCHMID-HAAS und BACHOFEN (1991) konnten diese Tendenz bei ihrer Untersuchung von Sturmschäden in der Schweiz nicht feststellen. Sie fanden keine höheren Schadanteile bei Bäumen mit niedrigen h/d-Werten bzw. längeren Kronen. ABETZ (1991, 1992) führte die Würfe von Bäumen mit niedrigeren Schlankheitsgraden bei PREUHLERS (1991) Untersuchung auf mangelnde Verankerungsmöglichkeiten in sandigem/kiesigem Substrat zurück. Er beurteilt das h/d-Verhältnis als guten Weiser bezüglich Windbruchgefährdung, hinsichtlich Windwurfgefährdung vor allem auf Standorten mit unzureichender Verankerungsmöglichkeit aber als unbrauchbar. RICHTER (1998, 2003) machte im Sauerland allerdings auch hinsichtlich Bruchgefährdung negative Beobachtungen. Hier hatten die gebrochenen Bäume im Schnitt einen um 1,87 cm höheren BHD als die ungeschädigten Nachbarbäume. Er führte dies auf den geringeren Spätholzanteil und die dickeren Äste zurück, welche weniger flexibel sind und den Winddruck eher auf den Stamm übertragen. Allerdings wurde bei RICHTER (1998, 2003) nicht geprüft, ob die größeren Bruchanteile auf Höhenunterschiede zwischen gebrochenen Bäumen und den Nachbarbäumen zurückzuführen sind. Höhen wurden nur teilweise durch Abschreiten aufgenommen und dann durch Höhenkurven ausgeglichen. Auch die h/d-Verhältnisse wurden demnach nur relativ grob erhoben. Äste stellen laut BRÜCHERT und BECKER (2000)²⁴ nicht generell Schwächungen der Biegeelastizität dar. Sie stellten bei Untersuchungen von Stammabschnitten im Bereich von Astquirlen keine Elastizitätssprünge gegenüber Abschnitten unmittelbar darüber oder darunter fest.

MITSCHERLICH (1974), MAYER (1985), MAYER und SCHINDLER (2002) sowie VANOMSEN (2006) kamen zu dem Ergebnis, dass ein niedrigerer Schlankheitsgrad die Schwingungsamplituden der Bäume verringert und die Eigenfrequenz erhöht. Dies führt infolge schmalbandiger Energieübertragung zu kleineren Windlasten und somit zu höherer Stabilität. ABETZ (1991) bestätigte dies anhand von Beispielen aus dem Ebersberger Forst: Bei sozial schwächeren, beherrschten Fichten waren Schwingungsamplitude und Schwingungsperiode um 33% höher bzw. länger als bei der vitaleren, mitherrschenden Fichten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der h/d-Wert nicht global als Stabilitätsweiser einsetzbar ist, sondern differenziert betrachtet werden muss. Dies zeigen auch viele Untersu-

²⁴ vgl. auch BRÜCHERT et al. 2000.

chungen, in denen er keine Signifikanz hinsichtlich der Sturmschäden erreichte (SCHMID-HAAS und BACHOFEN 1991, HILBRIG und BOLTE 2006, SCHÜTZ et al. 2006). Unbestritten ist seine Aussagekraft hinsichtlich Schneebruchstabilität und Windbruchstabilität. Hinsichtlich Windwurfs muss dagegen die Verankerung im Boden mit berücksichtigt werden. Generell ist der Schlankheitsgrad immer im Zusammenhang mit der absoluten Baumhöhe zu sehen (CREMER et al. 1982, LOHMANDER und HELLES 1987, WILSON und OLIVER 2000). Außerdem können andere Faktoren, wie eine kürzlich erfolgte Auflösung der kollektiven Stabilität den Einfluss des h/d-Verhältnisses auf die Stabilität überprägen.²⁵

CREMER et al. (1982) sehen das h/d-Verhältnis der 200 Stärksten Bäume als besseren Indikator für Resistenz gegen Windschäden als das mittlere h/d-Verhältnis, da die kleineren Bäume geringen Einfluss auf die Bestandesstabilität hätten.

Neben dem h/d-Verhältnis werden in der Literatur noch folgende Variablen zur Berechnung der Resistenz eingesetzt:

- $BHD^2 \cdot \text{Höhe}$ als Maß für die Widerstandsfähigkeit gegen Windwurf (GARDINER et al. 1997, PELTOLA et al. 2000). Dieses Maß stellt eine näherungsweise Schätzung der oberirdischen Masse dar (Biomasseindex). Die Autoren gehen davon aus, dass die unterirdische Verankerungsmasse mit dieser Größe korrespondiert. Demnach ist hier ein höherer Wert als stabilitätsförderlich zu betrachten.
- BHD^3 als Maß für die Bruchfestigkeit des Stammes und damit auch für die Widerstandsfähigkeit gegen Windbruch oder Steinschlag (MITSCHERLICH 1974, BLACKBURN und PETTY 1988, GARDINER et al. 1997, PELTOLA et al. 2000, KALBERER et al. 2007)

Diese Maße wurden bei Baumzugversuchen in Finnland und der Schweiz bestätigt (PELTOLA et al. 2000, JONSSON et al. 2006, KALBERER et al. 2007, LUNDSTRÖM et al. 2007a, 2007b).

Baumhöhe: Siehe Bestandeshöhe.

Kronenlänge: Eine große Krone bedeutet auch eine große Auffangfläche für die Windkräfte, insofern wirkt die längere Krone zunächst belastungserhöhend. Aber die damit verbundene Durchmesserzunahme bedingt eine Erhöhung der individuellen Tragfähigkeit des Schaftes (MARSCH 1989b). ABETZ (1991) bestätigte dies: „Bei langkronigen Bäumen nimmt die Bruchfestigkeit aufgrund der Abholzigkeit des Schaftes überproportional zum Windwiderstand der größeren Krone zu.“ Hinsichtlich Schneebruchgefährdung konnte ROTTMANN (1983) auch unabhängig von einem niedrigeren Schlankheitsgrad eine positive Wirkung von langen Kro-

²⁵ vgl. dazu auch RÖHRIG et al. 2006, S.252.

nen nachweisen.²⁶ Tritt dennoch Schnee- oder Windbruch ein, können Bäume mit langen und gut ausgeformten Kronen eine Entwipfelung besser überstehen (ROTTMANN 1985, DIMITRI und KEUDELL 1986, SCHMIDT-VOGT 1989). Eine längere Krone ist oft auch Merkmal einer weitständigeren Erziehung. So erzogene Bäume haben auch bessere Wurzelsysteme und eine bessere Verankerung. Auf wurfgefährdeten Standorten überwiegen aber laut ABETZ (1991, 1992) die negativen Auswirkungen der größeren Windangriffsfläche.

Gesundheit: Fäule wird in der Literatur häufig als wichtige Ursache für Sturmschäden genannt (z.B. OLIVER und LARSON 1996).²⁷ BAZZIGHER und SCHMID stellten 1969 fest, dass für die 1967er Sturmschäden in der Schweiz kein Bestandesmerkmal entscheidender war als der Anteil fäulekranker Bäume. THOMASIU (1988b) und MARSCH (1989a) berichteten, dass Rotfäule die Knick- und Biegefestigkeit von Fichten um 20-40% herabsetzen kann. In den Untersuchungen von RICHTER (1998, 2003) zeigte sich, dass Schälsschäden oft Rotfäule nach sich ziehen und letztlich für häufigere Windbruchschäden sorgen.²⁸ FRUHMANN und ROEDER (1981) wiesen einen Zusammenhang zwischen Schälsschäden und Schneebruch nach.²⁹ Schälsschäden haben auch direkte Auswirkungen auf die Vitalität der Bäume (WEBER 1991, MOSANDL 1993). STEYRER und TOMICZEK (1998) untersuchten den Zusammenhang zwischen Fäule und Stabilität mittels Baumzugversuchen. Für gesunde Bäume war ein um 65% höheres Zug-Moment notwendig als für Bäume mit Fäule. Auch FRASER (1962) stellte bei Zugversuchen eine um 30% reduzierte Widerstandskraft von wurzelfaulen Nadelbäumen fest. SCHMID-HAAS (1991, 1994, 2002) kam zu dem Ergebnis, dass Wurzelfäule ursächlich für Kronenverlichtungen, Zuwachsminderung und Sturmschäden ist.³⁰ Laut diesen Untersuchungen können Nadelverluste unter 30% bereits ein Indiz für eingeschränkte Gesundheit und verminderte Stabilität sein. LÄTT (1991) konnte anhand von Infrarotluftbildern den Zusammenhang zwischen Kronenverlichtungen und späteren Windwurfschäden bestätigen. RIGLING (2005) untersuchte nach dem Sturm Lothar 1999 geschädigte und nicht geschädigte benachbarte Bäume auf Fäulen. Logistische Regressionsanalysen ergaben signifikant höhere

²⁶ Es wurden Schneebruchschäden im Universitätswald der Ludwig-Maximilians-Universität München untersucht.

²⁷ Siehe auch schon C. WAGNER (1914).

²⁸ Vgl. auch PRIEN und LEYDOLPH (1974).

²⁹ Siehe auch GÄRTNER (1990).

³⁰ Zusammenhänge zwischen Stockfäule und Nadelverlusten bzw. Zuwachsrückgang konnten nicht nachgewiesen werden. Offenbar wirkt sich die Stockfäule nicht immer auf das Splintholz aus, welches entscheidend für den Wasser- und Nährstofftransport ist.

Fäuleanteile bei Wurzel- und Stockbrüchen. Das Risiko auf Sturmschaden ist bei faulen Fichten demnach insgesamt um das 1,5-fache erhöht.

Verankerung und Bewurzelung: NIELSEN (1990, 1991) bezeichnet den Prozess der Lockerung von Bäumen aufgrund dynamischer Windbelastung, welche schließlich zum Wurf führt, als „Verankerungslösung“. Laut COUTTS (1983, 1986), BLACKWELL et al. (1990) und NIELSEN (1990, 1991) sind bei diesem Prozess verschiedene Komponenten der Verwurzelung phasenweise nacheinander beteiligt. Diese Komponenten sind:

- Kohäsion und Gewicht des Wurzelballens
- Beschaffenheit der Zugwurzeln auf der Luvseite
- Beschaffenheit der Druckwurzeln auf der Leeseite

Bei beginnender Windbelastung hat der Wurzelballen zusammen mit dem Baumgewicht den größten Beitrag an der Verankerung. Mit steigender Wurzelhebung nimmt zunächst der Beitrag der Druckwurzeln zu, bis dann in einer weiteren Phase der Beitrag der Zugwurzeln an der Verankerung wächst (NIELSEN 1991). Eine Verzögerung der Verankerungslösung und damit eine Erhöhung der Resistenz ließe sich demnach dadurch erreichen, dass die oben genannten Komponenten durch waldbauliche Eingriffe beeinflusst werden. Inwieweit das Wurzelsystem der Fichte überhaupt durch waldbauliche Eingriffe geprägt werden kann, soll im Folgenden geklärt werden.

Das Wurzelsystem der Fichte und dessen Funktionsweise wurde verschiedentlich umfassend beschrieben (HILF 1927, KÖSTLER et al. 1968, SUTTON 1969, KOZLOWSKI 1971, KUTSCHERA und LICHTENEGGER 2002). Wie alle Baumarten hat die Fichte genetisch bedingt die Tendenz, bei normaler Entwicklung eine artspezifische Wurzel-Sproß-Relation einzuhalten. Hierbei handelt es sich um Wechselwirkungen, die durch ein kompliziertes physiologisches System gesteuert werden (LYR et al. 1992). MÜNCH stellte dies bereits 1938 (S.581 f.) in seinem Aufsatz „Untersuchungen über die Harmonie der Baumgestalt“ fest: „Soll der Aufbau eines Organismus allen Lebensbedürfnissen gerecht werden, so müssen seine Teile zueinander in einem harmonischen Zahlen- und Größenverhältnis stehen. [...] Die Notwendigkeit einer ausreichenden Versorgung mit Wasser und Nährstoffen erfordert ein bestimmtes Größenverhältnis zwischen Krone und Wurzel...“

Aufgrund solcher genereller allometrischer Beziehungen lassen sich auch Maßzahlen für das Verhältnis zwischen oberirdischer und unterirdischer Biomasse errechnen (DROSTE ZU HÜLSHOFF 1969, VYSKOT 1981, GRUBER 1992, DREXHAGE et al. 1999, LEVY et al. 2004, WIRTH et al. 2004, BOLTE et al. 2004, GRUBER und LEE 2005a, OFFENTHALER und HOCHBICHLER 2006). Je

nach Autor werden für Fichte Wurzel:Spross-Verhältnisse von 0,13-0,30 angegeben. Insofern kann man davon ausgehen, dass sich Pflegemaßnahmen, welche die Kronenentwicklung fördern, auch positiv auf die Wurzelentwicklung auswirken. Fichten mit einer großen Krone und einem niedrigen h/d-Verhältnis dürften deshalb über eine bessere Verankerung verfügen als kleinkronige Fichten mit hohem h/d-Wert.

Trotz des grundsätzlichen Zusammenhangs zwischen Kronen- und Wurzelwachstum ist dieses Verhältnis aber nicht konstant und unbeeinflussbar. Dies geht schon aus der Tatsache hervor, dass Kronen- und Wurzelwachstum zeitlich entkoppelt sind. Das Wurzelwachstum beginnt häufig früher im Jahr als das Sprosswachstum und hält oft auch im Herbst länger an (LYR und HOFFMANN 1967, MITSCHERLICH 1970, KRAMER 1988, LYR et al. 1992). Außerdem können sowohl die Architektur der Fichtenwurzel als auch das Spross:Wurzel-Verhältnis durch bestimmte Umweltfaktoren beeinflusst werden. Dies sind vor allem Bodeneigenschaften wie Bodenfeuchtigkeit, -temperatur, -durchlüftung, Nährstoff- und pH-Situation (Basensättigung), Skelettanteil, Dichtelagerung und Wasserhaushalt (MATTHES 1911, HILF 1927, BÜSGEN und MÜNCH 1927, RÖHRIG 1966, LYR und HOFFMANN 1967, KÖSTLER et al. 1968, SUTTON 1969, GRUBER 1992, LYR et al. 1992, BAZZAZ und GRACE 1997, BARNES et al. 1998, POLOMSKI und KUHN 1998, PUHE 2003, KIMMINS 2004, GRUBER 2005a, 2005b, NICOLL et al. 2006), aber auch die jeweilige Konkurrenzsituation (KOZLOWSKI et al. 1991, OLIVER und LARSON 1996, BOLKENIUS 2001). Auf armen Standorten wird weniger in den Stamm als in die Wurzelmasse investiert, weil ein größeres Wurzelsystem zur Versorgung der überirdischen Pflanzenteile notwendig ist (KEYES und GRIER 1981). Unter optimalen Bodenbedingungen entwickelt die Fichte ein tiefreichendes Wurzelsystem mit einer pfahlwurzelähnlichen Hauptwurzel und vielen dicht verzweigten tiefreichenden Senkern. Je nach Wachstumsbedingungen treten aber modifizierte Formen wie Senker-, Halbsenker-, Flachwurzel- und Tellerwurzelform auf. (GRUBER und LEE 2005b). Steiles Gelände scheint sich dagegen nicht direkt auf die Verankerung auszuwirken (NICOLL et al. 2005).

Auch mechanische Beanspruchung der Wurzeln beispielsweise durch Windbewegung des Stammes führt zu verstärktem Wachstum, dem adaptiven Wurzelwachstum (WAGNER 1914, COUTTS und LEWIS 1983, NIELSEN 1990, STOKES et al. 1995, OLIVER und LARSON 1996, NICOLL und RAY 1996, COUTTS et al. 1999, RUEL et al. 2003, LUNDSTRÖM et al. 2007a). COUTTS et al. (1999) berichteten, dass vor allem bei Sitka-Fichten mit sehr flachem Wurzelwerk aufgrund der größeren Schwingungen die Wurzeln verstärkt wurden: Bei einer Stärke der Wur-

zel/Boden-Platte von 0,8 m fanden sie ein Wurzel:Spross-Verhältnis von ca. 0,4 kg/kg, bei einer Stärke von 0,3 m ein Verhältnis von 0,6 kg/kg.³¹

Folgende waldbauliche Einflussfaktoren führen zu veränderten Wurzel:Spross-Verhältnissen und zu veränderter Verankerung: Pflanzverband sowie ggf. erfolgte Wurzeldeformation bei der Pflanzung, Überschirmung, Läuterung und Durchforstung.

NIELSEN (1990, 1991) untersuchte sowohl Fichtenbestände, die aus unterschiedlichen Pflanzverbänden hervorgegangen waren, als auch Bestände die unterschiedlichen Läuterungs- und Durchforstungsregimes unterlegen waren. Selbst in 100 jährigen Beständen konnte ein bedeutender Einfluss des ursprünglichen Pflanzabstandes auf die Bewurzelung nachgewiesen werden. Bei gleichem Alter, ähnlicher Stammzahl, ähnlicher Höhe und ähnlichem h/d-Verhältnis ergaben sich zwischen den eng- und den weitbegründeten Parzellen Stammmassenunterschiede von 24, 45 und 70 %, aber Wurzelmassenunterschiede von 233, 95 und 141 % (vgl. Tab. 4.2).³² Die weiten Pflanzverbände sorgten also für überproportional hohes Wurzelwachstum im Bereich der Wurzeln von 1-50 mm. Diese Wurzeln sind bei der Verankerung vor allem für die Zugwurzelkomponente verantwortlich.

Tab. 4.2: Stamm- und Wurzelmassen (Wurzeln 1-50 mm) von Parzellen, die im Weit- und Engverband begründet wurden (auf vergleichbaren Standorten). Bei den prozentualen Angaben ist immer die jeweilige Engverbandsfläche auf 100% gesetzt (nach NIELSEN 1990).

Forstamt	Pflanzverband	Alter	h/d	Hg	Dg	N/ha	Stamm-masse (fm)	Stamm-masse (%)	Wurzel-masse (g)	Wurzel-masse (%)
Bornholm (Dänemark)	weit	53	0,86	21,4	25,8	978	568,6	124	9069	333
	eng	53	0,95	22,2	23,6	889	459,5	100	2720	100
Graf v. Westphalen (Niedersachsen)	weit	87	0,77	32,0	42,7	400	835,3	145	7124	195
	eng	86	0,74	29,8	39,8	350	577,9	100	3654	100
Rosengarten (Schleswig-Holstein)	weit	104	0,78	32,2	42,6	400	863,7	170	8464	241
	eng	103	0,83	27,3	33,1	450	507,3	100	3507	100

³¹ Besonders eindrucksvoll zeigen sich die Vorgänge des adaptiven Wachstums in einem Experiment von JACOBS (1954): Dabei wurden Bäume der Art *Pinus radiata* paarweise verglichen. Je ein Baum konnte frei schwingen, während der andere durch Seile am Schwingen gehindert wurde. Die frei schwingenden Bäume entwickelten ein niedrigeres h/d-Verhältnis und ausgeprägtere Verankerungswurzeln. Nach zwei Jahren waren die angebundenen Bäume dagegen deutlich instabil: sie brachen oder fielen nach Entfernung der Seile beim nächsten starken Wind um.

³² Weit begründet bedeutet hier Pflanzabstände von 2,5 x 2,5 m bis 3,5 x 3,5 m. Die eng begründeten Parzellen wiesen Pflanzanzahlen von über 6000 Pflanzen je ha (beispielsweise 1,5 x 1,0 m) auf.

In derselben Untersuchung stellte NIELSEN (1990, 1991) entscheidende Auswirkungen früher Läuterungen fest: Die Verzweigungsintensität der strukturellen Wurzelsysteme wird seinen Ergebnissen zufolge im Gerten- und Stangenholzalter weitgehend festgelegt.³³ So konnte durch starke Durchforstungen ab 6 m Bestandeshöhe diese Verzweigung und die weitere Wurzelentwicklung signifikant erhöht werden. Das in dieser Phase gebildete Wurzelwerk ist für den späteren Wurzelzuwachs jahrzehntelang bestimmend. NIELSEN (1990, S. 209) äußerte sich zur grundsätzlichen Beeinflussbarkeit der Wurzel:Spross-Allometrie durch waldbauliche Behandlungen folgendermaßen:

„Obwohl sich die Zuwachsfluktuation in Stamm und Wurzelbereich stark ähneln [...], kann aufgrund mehrerer Untersuchungsergebnisse geschlossen werden, dass der langfristige *absolute Zuwachs* verschiedener Wurzelklassen keineswegs in enger Beziehung zum Stammzuwachs steht. Im Gegenteil wirken sich verschiedene Durchforstungsmaßnahmen auf das Wachstum im Stamm- und Wurzelbereich sehr unterschiedlich aus. Die Flächenproduktion der Starkwurzeln steigt, im Gegensatz zur Stammproduktion, stark mit zunehmender Durchforstungsstärke [...], der flächenbezogene Zuwachs der Grob-, Schwach- und Feinwurzeln hängt stark von der intraspezifischen Konkurrenz ab [...]. Es ist eine wichtige waldbauliche Erkenntnis, dass die Wurzelproduktion in weit höherem Maße als die Stammproduktion behandlungsabhängig ist.“

Auch WEBER (zit. n. BÜSGEN und MÜNCH 1927) stellte bereits Wirkungen von Durchforstungen auf das Wurzel:Spross-Verhältnis fest. Er gab für Fichtenbestände ein Gewichtsverhältnis zwischen unterirdischer und oberirdischer Masse von 30-35% an. Bei eng stehenden Beständen mit schlanken Bäumen sei es niedriger, bei weitständigen Beständen mit kurzschäftigen Bäumen größer.

NÖRR und BAUMER (2002), NÖRR (2003a, 2003b), PUHE (2003) sowie BEHM (2004) fanden wie NIELSEN (1990) sowie COUTTS und LEWIS (1983) eine sehr frühe Festlegung von Wurzelentwicklungen, allerdings hinsichtlich Wurzeldeformationen. Demnach sind bei der Pflanzung entstandene Wurzeldeformationen nach Jahrzehnten noch prägend für das Wurzelsystem³⁴ und von entscheidender Bedeutung für die Verankerung.

Überschirmung und damit Beschattung führt zunächst zu einer Senkung des Wurzel:Spross-Verhältnisses. Bei Lichtmangel werden die oberirdischen Organe gegenüber dem Wurzelsystem relativ im Wachstum gefördert (BURSCHEL und SCHMALTZ 1965, RÖHRIG 1966, LYR et al 1992). Daraus muss aber nicht geschlossen werden, dass sich lange Überschirmungszeiträume dauerhaft negativ auf das Wurzel:Spross-Verhältnis auswirken. Drew (1983) stellte bei beschatteten Douglassiensämlingen (71% Licht) ein höheres Sprosswachstum als bei

³³ COUTTS und LEWIS (1983) stellten bei Sitkafichten fest, dass die Einteilung in große und kleine Wurzeln innerhalb der ersten 8 Jahre festgelegt wird. GRUBER (1992) fand ähnlich frühe Festlegungen bei *Picea abies*.

³⁴ Vgl. auch BÜSGEN und MÜNCH (1927, S. 265 f.).

unbeschatteten fest. Nach Entfernung der Beschattung wurde das Wurzelwachstum wieder stärker gefördert, so dass sich eine sehr gute Wurzel-Spross-Relation einstellte.

SÄFAR (1954) folgerte aus Grabungen in kroatischen Plenterwäldern, dass zumindest die Tanne unter dichtem Kronen- und Wurzelschluss Jahrzehnte lang ein starkes Wurzel- und ein weniger starkes Kronenwachstum unterhalte.

4.1.1.1.2 Bestandesfaktoren

Bestandesalter: In vielen Untersuchungen wurde eine höhere Sturmschadensgefahr mit zunehmendem Alter beschrieben. In der Regel ist hierbei das Alter aber nur ein Ausdruck für eine größere Bestandeshöhe (BURSCHEL 1990). König (1995) verzeichnete bei gleich hohen Beständen weniger Sturmschäden in den älteren Beständen. Er führt dies auf geringere Bonitäten zurück, welche mit geringeren Stammzahlen, niedrigeren h/d-Werten und entsprechend höheren Einzelbaumstabilitäten verbunden sind.

Bestandeshöhe: Generell nimmt die Windbelastung mit zunehmender Höhe über dem Erdboden nach dem logarithmischen Windgesetz zu (MITSCHERLICH 1974). Auch die Gefahr von gefährlichen Böen steigt (BRÜCHERT und BECKER 2000). Bei höheren Bäumen wird der wirksame Hebelarm länger (WÖLFLE 1936). Entsprechend werden die Bestände mit zunehmender Höhe anfälliger für Sturmschäden (BURSCHEL 1990). Verschiedene Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass die Gefahr für Schäden ab einer Bestandeshöhe von (15-)20 m deutlich ansteigt (ROTTMANN 1986, KÖNIG 1995, SLODICKAK 1995, MÜLLER 2000, 2002, DHÔTE 2005, DOBBERTIN 2005, MAYER et al. 2005, INDERMÜHLE et al. 2005). Ab einer Höhe von 20 m scheinen die Schäden vor allem bei höheren Windgeschwindigkeiten einen zunehmend unkalkulierbaren Verlauf zu nehmen: MAYER et al. (2005) sowie SCHÜTZ et al. (2006) konnten über 20 m keinen signifikanten Einfluss der Höhe mehr belegen. SCHMIDT et al. (2006) fanden allerdings in ihrem Datensatz noch einmal einen steilen Anstieg der Schäden ab 25-30 m. Auch DOBBERTIN et al. (2002) berichteten von einem kontinuierlichen Anstieg der Schäden bis über 35 m Höhe. In der Untersuchung von KÖNIG (1995) stieg die Wahrscheinlichkeit von Sturmschäden ab einer Höhe von 29 m über 50 %.

Bestandesdichte: Das Herabsetzen der Bestandesdichte bedeutet auf Bestandesebene eine Erhöhung der Schadensanfälligkeit. Es erhöht die Rauigkeit und damit die Windbelastung im Kronenraum (SCHMIDT-VOGT 1989). Physikalische Stützeffekte, die durch Kronenkontakt der Bäume während der Schwingung im Sturm normalerweise entstehen, werden aufgehoben (NIELSEN 1990). Die Schwingungsamplitude wird größer. MITSCHERLICH (1974) stellte nach einer starken Durchforstung in einem Douglasienbestand eine um das zwei- bis dreifa-

che erhöhte Schwingungsamplitude der Bäume fest. GARDINER et al. (1997) sahen bei geringerer Bestandesdichte eine höhere Wurfgefahr aufgrund des höheren Biegemoments und der größeren oberirdischen Masse. Im Gegensatz zur Wurfgefahr sinke aber die Bruchgefahr nach einiger Zeit wegen der sich entwickelnden größeren Stabilität des Stammes.³⁵ Solche stabileren Bäume können die Windkraft besser dämpfen. Deshalb sind sie auch beim Verlust von benachbarten Bäumen nicht so stark gefährdet.

Nicht nur sehr dichte Bestände sind aufgrund ihrer kollektiven Stabilität sturmresistent, sondern auch Bestände mit sehr geringen Dichten. ROTTMANN (1986) gab den mittleren Bereich von Bestockungsgraden 0,6-0,9 als besonders gefährdet an. Diese Angabe deckt sich mit Ergebnissen einer umfangreichen Auswertung von österreichischen Inventurdaten durch SEKOT (1990). Die größten Schadanfälle ergaben sich bei Bestockungsgraden von 0,7-0,8. Voll bestockte Bestände waren weniger anfällig als Bestände mit einer Bestockung von 0,6. LAVNYI und LÄSSIG (2006) analysierten Windwürfe in der Ukraine. Auch hier waren die größten Schäden in Beständen mit Bestockungsgrad 0,6-0,7 zu verzeichnen.

Beimischung von anderen Baumarten: Die Beimischung von Tanne oder Laubbäumen wird als wirksame Maßnahme zur Stabilisierung von Fichtenbeständen gesehen (KNOKE et al. 2008). Eine höhere Sturmfestigkeit von Tanne wird allerdings gelegentlich in Frage gestellt. So konnten beispielsweise BAZZIGHER und SCHMID (1969) bei ihrer Untersuchung der Sturmkatastrophe von 1967 in der Schweiz die bessere Sturmfestigkeit der Tanne nicht absichern. Laut SCHMIDT-VOGT (1989, 1991) gibt es dafür zwei Erklärungen: Zum einen bildet die Tanne nicht auf allen Standorten ein starkes Pfahlwurzelsystem aus. Auf flachgründigen Standorten mit felsigem Untergrund kann sie dieses Wurzelwerk nicht ausbilden, während das Wurzelwerk der Fichte nicht nennenswert behindert wird (POLGE 1960). Zum anderen ist die Tanne zwar in der Regel sturmfester, aber nur bis zu gewissen Windstärken. Werden diese überschritten, wie im Falle des Sturmes von 1967 oder auch während des Sturmes „Lothar“ im Jahr 1999, dann wird auch die Tanne geworfen. Bei Zugversuchen von SCHMIDT-VOGT et al. (1987) an Fichten und Tannen fielen die Fichten im Mittel bei 20.000 Newton während die Tannen noch bis 25.000 Newton Stand hielten. Ein weiterer Hinweis findet sich in einer Untersuchung von LÄTT (1991). Hier rangiert die Tanne mit dem Schadensanteil noch vor der Fichte an erster Stelle. Dies ist aber nicht in einer geringen Sturmfestigkeit dieser Baumart begründet, sondern im hohen Anteil an neuartigen Waldschäden bei der Tanne zu dieser Zeit

³⁵ In Anlehnung an BLACKBURN und PETTY (1988) ausgedrückt durch BHD^3 anstelle des h/d -Verhältnisses.

in diesem Bereich.³⁶ KALBERER et al. (2007) stellten bei Tanne eine höhere Biegefestigkeit als bei Fichte fest. Untersuchungen von SCHMIDT et al. (2006) nach „Lothar“ zufolge wiesen Tanne und Douglasie eine eindeutig höhere Resistenz gegen Sturm auf als Fichten. Noch resistenter waren Laubbäume. Diese sind vor allem stabiler gegen Sturmwurf, weil sie während der Hauptsturmzeiten im Winter nicht belaubt sind (SCHMIDT-VOGT 1989, PELTOLA et al. 1999). Im Erklärungsmodell für Sturmschäden bei Vivian und Wiebke von KÖNIG (1995) waren reine Fichtenbestände am labilsten. Stabiler waren in aufsteigender Reihenfolge Bestände in der Mischung Fichte-Kiefer, Fichte-Laubholz, Fichte-Buche, Buche-Fichte. Allerdings waren die Unterschiede zum Teil nicht signifikant. LÜPKE und SPELLMANN (1997, 1999) sahen keine klaren Hinweise auf eine erhöhte Sturmfestigkeit der Fichte in Mischbeständen mit Buche. Einige Untersuchungen deuten darauf hin, dass sich in dieser Mischung die Buchenwurzeln eher in tieferen Schichten konzentrieren, während die Fichten den oberen Boden durchwurzeln (FÖLSTER et al. 1991, SCHMID und KAZDA 2001, 2002) und tendenziell weniger stabil seien. BOLTE et al. (2003) führten diese Befunde allerdings hauptsächlich auf einen erhöhten Feinwurzelaanteil der Buche in tieferen Schichten zurück. Die Fichte zeigte in ihren Studien keine nennenswert veränderte Wurzelarchitektur. ROTHE (1997) ist der Meinung, dass sich in Mischbeständen keine verringerte Verankerung bei der Fichte ergibt. Im Hinblick auf die Sturmfestigkeit sei vor allem der zentrale Stockbereich mit seinen vertikalen Tiefwurzeln von Bedeutung. In diesem Bereich gäbe es keine wesentlichen Unterschiede zwischen Rein- und Mischbestandsfichten hinsichtlich der Durchwurzelungstiefe. Eine Untersuchung von KERN et al. (1961) und KERN (1966) an Fichten, Buchen und Tannen in Plenterwäldern und Fichten in Reinbeständen bestätigt dies. Bei den von SCHMID-HAAS und BACHOFEN (1991) untersuchten Sturmschäden waren Bestände mit einem Nadelholzanteil von über 90% mehr als doppelt so stark gefährdet wie Bestände mit geringeren Anteilen. Auch MAYER et al. (2005), Schütz (2005), SCHÜTZ et al. (2006) und CLASEN et al. (2008) beobachteten signifikant höhere Sturmschäden bei größeren Fichtenanteilen. Laut SCHÜTZ et al. (2006) stieg durch Beimischung von 10-20% Laubholz in Nadelholzbeständen die Widerstandskraft gegen den Sturm „Lothar“ 1999 signifikant um den Faktor 3,4. Sie sind der Meinung, dass Fichten in Mischbeständen mit Buche nur dann weiterhin stark gefährdet sind, wenn sie die Buchen deutlich überragen. Überraschend hoch war der Stabilisierungseffekt auch bei Mischungen mit Douglasie. Dieser lag in der gleichen Größenordnung wie bei Mischungen mit Laubhöl-

³⁶ Der Gesundheitszustand der Tannen hat sich in Deutschland seit den Bemühungen zur Schadstoffreduktion in den 1980er und 1990er Jahren deutlich verbessert. Man kann daher von einer verbesserten Stabilität ausgehen.

zern (SCHÜTZ et al. 2006). Auch NICOLL et al. (2006) dokumentierten nach Baumzugversuchen eine sehr gute Verankerung von Douglasie im Vergleich zu anderen Koniferen.³⁷

Horizontalverteilung, Vertikalverteilung: Hinsichtlich Horizontal- und Vertikalverteilung gibt es konträre Ansichten. Einige Autoren setzen vor allem auf kollektive Stabilität. Um diese möglichst nicht zu unterbrechen, sollte das Kronendach homogen und geschlossen sein. Die Bäume sind dabei möglichst gleichmäßig verteilt. So ergeben sich die bestmöglichen gegenseitigen Stützeffekte und eine geringe Rauigkeit des Kronendachs (THOMASIUS 1988b). Ungleichmäßigkeiten in der Bestockung stellen Ansatzpunkte für Windschäden dar (BOSSHARD 1967, PREUHLER 1991, KÖNIG 1995). Andere Autoren sehen langfristig eine bessere Möglichkeit zur Stabilisierung der Bestände durch horizontale und vertikale Strukturierung. SCHMIDHAAS und BACHOFEN (1991) stellten bei einer Untersuchung von Sturmschäden in der Schweiz fest, dass mehrschichtige Bestände deutlich seltener geschädigt wurden als einschichtige. Näheres dazu im Kapitel „Schadendisposition von ungleichförmigen Beständen“.

4.1.1.2 Einfluss von waldbaulichen Eingriffen – Empfohlene Konzepte

Durchforstungen: Durchforstungen haben zunächst immer eine destabilisierende Wirkung auf Waldbestände (BURSCHEL 1981, CREMER et al. 1982, ROTTMANN 1986, LOHMANDER und HELLES 1987, ABETZ 1991, KÖNIG 1995, 1996, GARDINER et al. 1997, PELTOLA et al. 1999, HUGGARD et al. 1999, 2001, DOBBERTIN et al. 2002, ZHU et al. 2003a, 2003b, INDERMÜHLE 2005, CLASEN et al. 2008). Die kollektive Stabilität wird geschwächt und über dem aufgerauten Kronendach entstehen bei Wind verstärkt Turbulenzen. Die Phase der Instabilität hält 2-5(-10) Jahre³⁸ an, wobei jüngere Bestände weniger destabilisiert werden (KÖNIG 1995) und sich schneller wieder stabilisieren. Dann ergeben sich aber positive Effekte wie eine Verbesserung der h/d-Verhältnisse (z.B. CREMER et al. 1982, CAMERON 2002) und bessere Verankerung durch adaptives Wurzelwachstum (COUTTS und LEWIS 1983, NIELSEN 1990, STOKES et al. 1995, NICOLL und RAY 1996, COUTTS et al. 1999, RUEL et al. 2003, ZHU et al. 2003a, 2003b).

Einige Autoren, die sich explizit mit Behandlungskonzepten zur Verringerung von Schneebruch- und Sturmwurfgefahr befassen, empfehlen deshalb eine gestaffelte Durchforstung, bei der in der Jugendphase stark und in späteren Stadien schwächer eingegriffen wird, bis hin zur Hiebsruhe (MITSCHERLICH 1974, ABETZ 1975, BURSCHEL 1981, ROTTMANN 1986, DIMITRI

³⁷ Dies könnte im höheren Bruchwiderstand des Wurzelholzes von Douglasie begründet sein: 45-63 MPa (allerdings nur bei der Küstenform) gegenüber 28 MPa bei Fichte (COUTTS 1983).

³⁸ Je nach Untersuchung finden sich unterschiedliche Angaben; der Wert 5 Jahre wird am häufigsten genannt.

und KEUDELL 1986, LOHMANDER und HELLES 1987, THOMASIIUS 1988b, MARSCH 1989a, 1989b, GÄRTNER 1990, NIELSEN³⁹ 1990, 1991, 1995, SLODICÁK 1995, WILSON und OLIVER 2000, BOLKENIUS 2001, CAMERON 2002, VANOMSEN 2006, KALBERER et al. 2007). Es handelt sich hierbei allerdings nicht um die gestaffelte Durchforstung im Sinne von WIEDEMANN (1937), da die Stammzahlreduktionen deutlich über denen von Wiedemann liegen.⁴⁰

Entweder weitständige Begründung und/oder sehr frühe starke Läuterungseingriffe sollen die h/d-Verhältnisse und die Verankerung der Bäume verbessern. Den Ergebnissen von NIELSEN (1990, 1991) zufolge (vgl. Unterpunkt „Verankerung und Bewurzelung“) ist eine frühe Jungendpflege entscheidend für die Verankerung. Spätere Durchforstungen dagegen bedeuten für die Fichten Verluste von Verankerungspunkten im Boden, was mit zunehmendem Alter weniger durch angepasstes Wurzelwachstum ausgeglichen werden kann. Untersuchungen von BOLKENIUS (2001) stützen diese Erkenntnis.

Eine vergleichende Auswertung zahlreicher Versuchsflächen durch MARSCH (1989a, 1989b) zeigte je nach Ausgangsstammzahl und Behandlung schon bei einer Mittelhöhe von 5 m deutlich unterschiedliche h/d-Verhältnisse. Er empfahl deshalb einen sehr frühen Eingriff zur Jungwuchspflege bei $h_g=1,5$ m bis max. 3 m. Nach einer Reduktion auf 2500 St/ha könne man dann allerdings bis zu einer Höhe von 12 m auf waldbauliche Eingriffe verzichten. MARSCH (1989a, 1989b) hat hierbei auch eine Steilhangvariante für Gebiete mit schwierigen Nutzungsbedingungen berechnet, bei der er die Stammzahl auf 2000 St/ha reduziert, um den nächsten Eingriff möglichst lange hinauszuschieben.

GÄRTNER (1990) empfahl je nach standörtlicher Schneebruchgefahrenklasse bei einer Oberhöhe von 1,5-3 m zwischen max. 3000 und 1700 Fichten/ha zu belassen. KOHNLE und TEUFEL (2005) empfahlen sowohl aus Stabilitätsgründen als auch aus ökonomischen Gründen Ausgangsbaumzahlen von 1000-2000 Fichten/ha.

Eine weitere Möglichkeit, die Differenzierung von Fichtenjungbeständen zu fördern und damit die Stabilität (v. a. gegenüber Schneebruch) zu erhöhen, besteht in der Nutzung langer Überschirmungszeiträume (HÖLLERL 1981, WEIHS et al. 1999).

Im weiteren Verlauf der gestaffelten Durchforstung werden die Eingriffe schwächer durchgeführt und schließlich eingestellt, um bei einem geschlossenen Kronendach und möglichst

³⁹ NIELSEN (1990) bezeichnet diese Durchforstung entsprechend der Durchforstungsgrade als D-A-Durchforstung.

⁴⁰ WIEDEMANN (1937, S.204) sieht in seiner gestaffelten Durchforstung bis zum Alter 40 starke Niederdurchforstungen vor, anschließend mäßige. Laut SLODICÁK (1995) wurde eine gestaffelte Durchforstung erstmalig bei BOHDANECKÝ (1890, zit. n. SLODICÁK 1995) erwähnt. Vgl. auch BOHDANECKÝ (1926).

geringer Rauzigkeit eine kollektive Stabilität zu erzielen. Durch Kronenkontakte während Windbelastung erfahren die Bäume eine physikalische Stützwirkung und die Schwingungsamplitude wird verringert. Um diesen Effekt möglichst auszunutzen und um die Verankerungsbiomasse zu akkumulieren, plante NIELSEN (1990) ab einer Baumhöhe von 2/3 der Endbaumhöhe Hiebsruhe.

In einer Untersuchung von SLODICK und NOVAK (2006) auf tschechischen Versuchsflächen (Vitkov) wurden die Auswirkungen von frühen Eingriffen auf das h/d-Verhältnis deutlich untermauert. Bei einer Ausgangszahl von 2500 St/ha wurde gegenüber der Kontrolle (=Variante 1) in Variante 2 bei Oberhöhen von 10, 12,5, und 15 m stark niederdurchforstet, in Variante 3 bei 10, 20 und 22,5 m. Dadurch konnte nach 30 Jahren das mittlere h/d-Verhältnis gegenüber 106 (Kontrolle) auf 79 in Variante 2 und auf 86 in Variante 3 gesenkt werden. Beim h/d-Verhältnis der 100 Stärksten ergab sich gegenüber 82 eine Verringerung auf 69 in Variante 2 und auf 75 in Variante 3.

Auch in einem Durchforstungsversuch in Freising konnten die h/d-Werte durch regelmäßige Durchforstungen deutlich gesenkt werden (HUSS 1990, HUSS 2004, HUSS und HAHN 2007). Durchforstet wurde bei Oberhöhen von 16, 18 und 25 m. Nach 31 Jahren lag das mittlere h/d-Verhältnis in der Kontrolle bei 98, in der starken Z-Baum-Durchforstung bei 87 und in der extremen Z-Baum-Durchforstung bei 62. Bei den Oberhöhenbäumen ergaben sich h/d-Werte von 71 (Kontrolle), 64 (Z-Baum stark) und 59 (Z-Baum extrem). Nachdem man hier später mit den Durchforstungen begonnen hat, gerät man allerdings mit den letzten Durchforstungen schon in den Bereich von Oberhöhen über 20 m, in dem die Sturmschadensgefahr zunimmt.

VANOMSEN (2006) bestätigte nach dynamischen und statischen Zugversuchen nicht nur eine höhere Festigkeit, sondern auch eine höhere Verankerungssteifigkeit von Bäumen einer ab dem Alter 35 konsequent stark durchforsteten Versuchsparzelle. Er gab allerdings zu bedenken, dass frühe Durchforstungen, wie sie NIELSEN (1990, 1991, 1995) und MARSCH (1989a, 1989b) vorschlagen, auch eine Frage der Ökonomie seien und ggf. nur in stark sturmgefährdeten Beständen sinnvoll seien.

Traufbildung: Als weitere wichtige Maßnahme zur Verringerung von Sturmschäden wird oft eine entsprechende Ausformung des Traufes von Beständen genannt (MITSCHERLICH 1974). An dichten Bestandesrändern wird der Wind nach oben gelenkt, wo sich Wirbel bilden, welche verheerende Wirkungen auf die dahinter liegenden Baumreihen haben können. Deshalb schlug MITSCHERLICH (1974) vor, einen aufgelockerten Trauf zu bilden, in den der Wind eindringen kann. Dies hat auch den Vorteil, dass die Windgeschwindigkeit nicht so abrupt ab-

gebremst wird. GARDINER et al. (1997) wie auch PELTOLA et al. (1999) stellten fest, dass die Windgeschwindigkeit in dichten Beständen rasch stark abnimmt, während sie in lockeren Beständen relativ hoch bleibt. Bäume in solchen Beständen sind weniger anfällig, wenn sich neue Lücken im Bestand ergeben.

Räumliche Ordnung: Entscheidend ist auch eine geeignete räumliche Ordnung mit Schutz durch benachbarte Bestände (ROTTMANN 1986). In einigen Sturmschadensanalysen kam dies deutlich zum Ausdruck (LOHMANDER und HELLES 1987, KÖNIG 1995).

Verjüngungseingriffe: Auch Verjüngungseingriffe bedeuten in der Regel eine Destabilisierung von Fichtenbeständen. KÖNIG (1995) zufolge wirken sich Initialstadien wie Trassenaufhiebe, alte Käferlöcher oder Femelstellungen signifikant auf die Entstehung von Sturmschäden aus. Bei ROTTMANN (1986) wurden verschiedene Verjüngungsverfahren hinsichtlich Sturmgefährdung beurteilt. Die geringste Sturmgefährdung ergibt sich bei Kahl- und Saumschlägen. Nachdem aber nicht alle Stürme aus derselben Richtung kommen, birgt auch der Saumschlag stets eine gewisse Sturmgefahr. Beim Schirmschlag wird der Bestand großflächig aufgelichtet und die gegenseitige Stützung der Bäume auf ganzer Fläche unterbrochen. Deshalb scheidet er bei Fichtenbeständen generell aus. Auch Femelhiebe bergen gewisse Risiken, sind aber bei vorsichtiger Vorgehensweise relativ wenig gefährlich, da das Kronendach nur in geringem Umfang durchbrochen wird. Entscheidend ist hierbei das richtige Verständnis von Femel als „Gruppenschirmstellung“, in der Gerüstbäume stehen bleiben. Ein Lochhieb dagegen, bei dem keine Gerüstbäume verbleiben, ist als sehr risikoreich einzuschätzen (MOSANDL 1984).⁴¹

Im Sicamous Creek-Projekt in British Columbia wurden verschiedene Eingriffsstärken in Bergwälder (*Picea engelmannii* und *Abies lasiocarpa*) untersucht (HUGGARD et al. 1999, 2001). Bei Eingriffen in der Größe von 0,1, 1, 10 ha und selektiven Entnahmen ergaben sich die geringsten Schnee- und Sturmschäden in den 0,1 ha Parzellen. Allerdings trat während des Untersuchungszeitraums kein echtes Sturmereignis auf, das für Flächenschäden hätte sorgen können.

4.1.1.3 Schaddisposition von ungleichförmigen Beständen

„Der Plenterwald ist offenbar deshalb der beste Schutzwald, weil er aus eigener Kraft sich selbst, seinen eigenen Bestand und Boden, vor äußeren und inneren Gefahren, allen anderen Waldformen voraus, sicherzustellen vermag.“ (BALSIGER 1925, S. 90).

⁴¹ Vgl. hierzu die Ausführlichen Erläuterungen zum Femelschlag bei MOSANDL (1984 S. 14-30 und S. 264 ff.)

Obwohl kollektive Stabilität und ein geschlossenes Kronendach mit möglichst wenig Aufrauung wichtige Stabilitätsfaktoren sind, gelten ungleichförmige, strukturierte Bestände wie Plenterwälder als besonders sturmsicher. ROTTMANN (1986) begründet dies folgendermaßen: Im Plenterwald herrscht dauernd derselbe ökologische Zustand. Kritische Phasen wie plötzliche Auflichtungen bei späten Durchforstungsmaßnahmen oder Verjüngungseingriffen fehlen. Weiterhin reduziert ein stufiger Bestandaufbau die Windgeschwindigkeiten entscheidend. BALSIGER (1925) und DANNECKER (1929) sehen die Widerstandskraft von Plenterwäldern in einer besonders guten Bewurzelung der Bäume. Der Waldboden sei dauernd gut durchwurzelt und Jungwüchse könnten von Beginn an kräftige Wurzeln ausbilden. SCHÜTZ (2002) führte an, dass im Plenterwald der Kronenschluss nicht wirklich unterbrochen sei. GARDINER et al. (1997) hätten im Windkanal-Experiment festgestellt, dass regelmäßige Öffnungen des Kronendaches die Stabilität nicht beeinflussen. Erst bei Bestandeslücken bestehe Gefahr. Allerdings haben GARDINER et al. (1997) und STACEY et al. (1994) diese Gefahr schon für recht kleine Lücken beschrieben. Bereits bei Lücken von 15 m verdoppeln sich die maximalen Biegemomente.

Durch die Ungleichaltrigkeit wachsen immer wieder Bestandesglieder ganz oder teilweise freistehend auf und bilden für den übrigen Bestand ein festes Gerippe (WAGNER 1914). Diese freistehenden Bäume passen sich durch eine bessere Stammform (h/d) und dickere Verankerungswurzeln sukzessive den Windverhältnissen an (NIELSEN 1990, SCHÜTZ 2002). Laut SCHÜTZ (2002) sind solche Gerüstbäume vor allem entscheidend, um den Zusammenbruch des ganzen Bestandes zu verhindern:

„Im Falle von schweren stürmischen Ereignissen scheinen sich die Bestände (zumindest bis zu einer total destruktiven Windstärke) sukzessiv aufzulösen, unter der Einwirkung von immer wieder kurzfristig wirkenden Böen. Zuerst fallen einzelne geschwächte Bäume. Erst bei der Überschreitung eines gewissen Auflösungsgrads dürfte der Bestand seine innere Kohäsion verlieren und zu flächigem Zerfall übergehen.⁴² In diesem Prozess spielen die gerüstbildenden Trägerbäume [...] eine große Rolle. Man kann davon ausgehen, dass von der Jugend auf regelmäßig durchforstete Bestände ein wesentlich stabileres Netzwerk von soliden Gerüstbäumen vorweisen und somit Sturmeinwirkungen gegenüber widerstandsfähiger sind als schlecht oder gar nicht durchforstete, auch wenn solche durch die enge Verflechtung der Baumkronen eine gewisse kollektive Stabilität besitzen.“

Ein weiterer Grund für die höhere Stabilität in strukturreichen und gemischten Beständen können die unterschiedlichen Schwingungseigenschaften aufgrund von verschiedenen Höhen und artabhängiger Stamm- und Kronenmerkmale sein. Die Kronen schlagen aneinander und Sturmkräfte werden reduziert (RÖHRIG 2006).

⁴² Filmaufnahmen von Windwurfereignissen bestätigen die beschriebenen Abläufe (SCHÜTZ et al. 2006).

Dhôte (2005) listete verschiedene theoretische Vor- und Nachteile von Plenterbeständen gegenüber gleichaltrigen Beständen hinsichtlich Sturmanfälligkeit auf. Er kam zu dem Ergebnis, dass man aus diesen theoretischen Überlegungen keine eindeutige Überlegenheit der ungleichaltrigen Bestände ableiten könne.

DVOŘÁK et al. (2001) führten die höhere Stabilität von Plenterbeständen unter anderem auf die geringere Fäule bei der Fichte zurück. Laut GRABER (1996) bleiben im Plenterwald Fichten bis in außergewöhnlich starke Dimensionen von der Stammfäule verschont, was durch die verlangsamte Jugendentwicklung und die Beimischung der Tanne erklärt werden kann (GRABER 1994). Bei einer Untersuchung von Plenterbeständen im Emmental nach Sturm Lothar stellten DVOŘÁK et al. (2001) eine signifikant (um den Faktor 2,4) höhere Stabilität dieser Bestände gegenüber gleichförmigen Beständen fest. Auch in Überführungsbeständen traten schon deutlich weniger Schäden auf. Schon in frühen Stadien der Überführung, in denen die Bestände den Gleichförmigen noch sehr ähnlich waren, ließ sich ein Stabilisierungseffekt beobachten (BACHMANN und DVOŘÁK 2005). Eingriffe kurz vor den Stürmen hatten auch hier einen negativen Effekt. Allerdings nicht in so großem Umfang wie in gleichförmigen Beständen und nicht so lange anhaltend. Bereits in der Kategorie „Eingriffe 6-10 Jahre vor Sturm“ war ein schadensmindernder Effekt nachweisbar. Mittlere Eingriffe mit Stärken von 70-150 sv/ha⁴³ hatten die geringsten Schäden zur Folge.

MASON (2002) modellierte für Sitkafichten Sturmschäden in strukturierten Beständen mittels „ForestGALES“⁴⁴. Er fand hierbei nur auf mittelmäßig windexponierten Standorten eine höhere Windwurffestigkeit der strukturierten Bestände gegenüber den konventionell durchforsteten einschichtigen Beständen. Auf windexponierten Standorten wurde der geringste Windwurf für undurchforstete einschichtige Bestände prognostiziert. Allerdings berücksichtigt das Modell GALES keine Verbesserung der Verankerung durch adaptives Wurzelwachstum, keine Fäuleanteile und keine Mischungseffekte. Die Bruchfestigkeit wurde jedoch in den strukturierten Beständen für alle Standorte höher eingeschätzt.

Auch die Schneebruchgefahr ist in stufigen Beständen deutlich geringer (ROTTMANN 1985). Die Stufigkeit verbessert in jüngeren Altersklassen die Bruchresistenz der einzelnen Bäume. Des Weiteren wird die Ausbildung einer geschlossenen Schneeauflast verhindert.

⁴³ sv = kurz für „Silve“, eine in der Schweiz gebräuchliche Maßeinheit für die Volumenangabe von stehenden Bäumen. LEIBUNDGUT (1969) gibt bei Fichten einen Umrechnungsfaktor von 1 sv = 1,1 m³ Derbholzmasse an.

⁴⁴ Zur Beschreibung des Simulationsmodells „ForestGALES“ siehe das Kapitel „Sturmschadensmodelle“ (4.1.1.4) und GARDINER et al. (2000).

O'HARA (2006) schätzt die Resistenz gegenüber verschiedenen Störungen in ungleichaltrigen Beständen höher ein als in gleichaltrigen, da Bäume unterschiedlicher Dimensionen einem größeren Spektrum an Naturgefahren widerstehen können. Auch die Elastizität⁴⁵ beurteilt er höher, da ständig eine Struktur erhalten bleibt, die nach einer Störung eine schnelle Rückkehr zum Ausgangszustand ermöglicht.

4.1.1.4 Sturmschadensmodelle

Von verschiedenen Autoren wurden Modelle zur Erklärung bzw. Prognose von Sturm- und/oder Schneebruchschäden entwickelt. Dabei wurden deskriptive, statistische (biometrische) und auch mechanistische Ansätze verfolgt. ROTTMANN (1986) beispielsweise verwendete einen deskriptiven Ansatz, wenn er die Einflussfaktoren von Windschäden nach Literaturanalysen gutachtlich gewichtete. Zu den biometrischen Modellen zählen beispielsweise die Ansätze von LOHMANDER und HELLES (1987), KÖNIG (1995), VALINGER und FRIDMANN (1999), JALKANEN und MATTILA (2000), DVORÁK et al. (2001), NI DHUBHAIN et al. (2001), MÜLLER (2002), HANEWINKEL et al. (2004), HANEWINKEL (2005), HANEWINKEL und ZHOU (2005) und SCHMIDT et al. (2006).

KÖNIG (1995) berechnete über ein kumulatives logistisches Modell mit binärer Zielvariable (Schaden tritt ein/Schaden tritt nicht ein) die Wahrscheinlichkeit für Sturmschäden. Dafür nutzte er Daten aus einem größeren Bereich im Jura nach den Stürmen Vivian und Wiebke. Er konnte hier wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Einflussfaktoren bei Sturmschäden gewinnen, die zum Teil schon erläutert wurden. Folgende Variablen erreichten in der logistischen Regression das Signifikanzniveau (Reihenfolge ist abnehmende Bedeutung): Bestandesoberhöhe, Standort, Zeit seit dem letzten Nutzungseingriff, maximale Windgeschwindigkeit bei Wiebke, Initialstadien (Lücken, Gassen etc.) Bestandesform (Mischung), Bestandesalter, Jahr des letzten ZE-Anfalls⁴⁶, Deckungsschutz durch Nachbarbestände⁴⁷.

Der Vorteil dieser Herangehensweise liegt darin, dass ein reales Sturmereignis analysiert wird. Es müssen keine kompromissbehafteten Annahmen getroffen werden, wie es zum Teil bei mechanistischen Modellen der Fall ist. Der Nachteil liegt in der Einmaligkeit des Ereignisses. Streng genommen gelten beispielsweise die Ergebnisse von KÖNIG (1995) nur für sehr

⁴⁵ O'HARA (2006) verwendet den Begriff „Resilience“.

⁴⁶ ZE=Zwangsbedingte Entnahme.

⁴⁷ Eine Tabelle mit den verwendeten Variablen in den biometrischen und den mechanistischen Schadensmodellen findet sich im Anhang: Tab. 10.9.

hohe Windstärken bei wassergesättigten Böden. Außerdem können aufgrund der großflächigen Betrachtung keine Erkenntnisse über Einzelbaumfaktoren gewonnen werden.

LOHMANDER und HELLES (1987) entwickelten für drei Untersuchungsgebiete in Dänemark eine ähnliche Funktion. Sie hatten allerdings keine Daten hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten zur Verfügung. Auch VALINGER und FRIDMANN (1999) entwickelten ihre logistischen Modelle für Schweden ohne meteorologische Daten. Sie unterschieden auch nicht zwischen Windschäden und Schneeschäden. Entsprechend kristallisierte sich hier das h/d-Verhältnis als wichtigste Input-Variable heraus.

Bei einer Modellierung von Einzelbaum-Überlebenswahrscheinlichkeiten von MÜLLER (2002) ergaben sich die Variablen Baumhöhe, BHD, Seehöhe und der Standortfaktor Wasserhaushalt als wichtige Einflussgrößen. Mit zunehmender Bestandesdifferenzierung wirkte sich ein größerer BHD als der Bestandesmitteldurchmesser risikomindernd aus. Bei einer von MÜLLER (2002) durchgeführten Simulationsreihe von drei Behandlungsvarianten ergaben sich für die unbehandelten Bestände die höchsten Schäden, für niederdurchforstete Bestände etwas geringere. Die geringsten Schäden wurden für Z-Baum durchforstete Bestände prognostiziert.

SCHMIDT et al. (2006) untersuchten in ihrem Ansatz zur Risikomodellierung auf der Basis von Inventurdaten in Baden-Württemberg 63.826 Bäume, von denen 6.664 Opfer des Wintersturmes Lothar geworden waren. Sie konnten neben dem Einfluss von waldbaulich nicht beeinflussbaren Größen wie Exposition, Exponiertheit und Entfernung zum Waldrand auch den Einfluss von Größen wie h/d-Verhältnis und Baumhöhe nachweisen sowie ein unterschiedlich hohes Risiko von verschiedenen Baumartengruppen. Dabei ist die Baumhöhe waldbaulich zwar nicht beeinflussbar, aber hinsichtlich der durchgeführten Maßnahmen kann die erreichte Baumhöhe berücksichtigt werden. Je nach geographischer Lage und damit je nach den meteorologischen Randbedingungen konnten die Autoren bei Fichten ab 25-30 m Höhe ein deutlich erhöhtes Sturmschadensrisiko nachweisen. Bezüglich des h/d-Verhältnisses traten Wechselwirkungen mit der Baumhöhe auf. Bei geringeren unterstellten Windgeschwindigkeiten zeigte sich erst ab Höhen von 30 m ein positiver Effekt von niedrigeren h/d-Verhältnissen. Waren die unterstellten Windgeschwindigkeiten höher, so war der positive Effekt schon bei geringeren Baumhöhen nachweisbar und eine Abnahme ist erst ab 40 m zu verzeichnen.

Bei den untersuchten Baumartengruppen bestätigte sich forstliches Expertenwissen: So weisen Tanne und Douglasie ein niedrigeres Risiko auf als Fichte, während das Risiko der Laubholzgruppen, beispielsweise Buche-Eiche, noch deutlich niedriger liegen.

HANEWINKEL et al. (2004), HANEWINKEL und ZHOU (2005) und HANEWINKEL (2005) testeten als weitere statistische Methode neuronale Netze zur Prognose für Sturmschäden. Diese lieferten im Vergleich zur logistischen Regression vor allem bessere Ergebnisse bei der Anteilsschätzung der potenziell geschädigten Bestände. Ein großer Nachteil besteht allerdings darin, dass im Rahmen von neuronalen Netzen das Signifikanzlevel der Input-Variablen nicht festgestellt werden kann. Wie HANEWINKEL et al. (2004) selbst anmerkten, wird auf diesen Ansatz nur derjenige zurückgreifen, der hauptsächlich an der Risiko-Klassifikation selbst interessiert ist. Ein forstlicher Entscheider, welcher eher an den Ursachen für die Risiko-Klassifikation interessiert ist, wird sich trotz der etwas schlechteren Performance an die logistische Regression halten.

Generell können solche statistischen Modelle keine Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufzeigen. Es besteht außerdem die Gefahr verzerrter Schätzungen, wenn entscheidende Einflussgrößen nicht in das Modell aufgenommen werden. Die sich ergebenden Zusammenhänge müssen deshalb auf Plausibilität geprüft und interpretiert werden. Diese Nachteile versucht man bei der Verwendung von mechanistischen Modellen zu umgehen. Dabei wird angestrebt, die Abläufe von Kalamitäten über eine möglichst genaue mathematische Analyse der Gesetzmäßigkeiten nachzubilden. So zum Beispiel in den Modellen von MARSCH (1989a, 1989b) zur Beschreibung von Schneebruch, Windbruch und Windwurf, welche aus Festigkeits- und Strömungslehre sowie mechanischer Schaftformtheorie abgeleitet sind. Die wichtigsten Ergebnisse von MARSCH (1989a, 1989b) wurden bereits vorstehend erläutert.

Mit dem schottischen „ForestGALES“ (GARDINER und QUINE 2000, GARDINER et al. 2000, HALE et al. 2004, CUCCHI et al. 2005), dem finnischen „HWIND“ (PELTOLA et al. 1999, GARDINER et al. 2000, TALKKARI et al. 2000) und dem französischen „FOREOLE“ (ANCELIN et al. 2004) wurden weitere mechanistische Modelle entwickelt, die allerdings nicht wie Marschs Modelle nur auf Einzelbaumebene sondern auch auf Bestandesebene angesiedelt sind. Neben mathematischen Überlegungen wurden hier auch aufwendige empirische Erhebungen durchgeführt, um Teilprozesse zu parametrisieren bzw. die Modelle zu validieren: so z.B. Zugversuche an Bäumen, Festigkeitsanalysen von Holzproben oder Windkanal-Experimente mit maßstabsgetreuen Modellen (GARDINER 1994, STACEY et al. 1994, GARDINER et al. 1997).

GARDINER und QUINE (2000) kamen aufgrund der Modellierungen mit „GALES“ zu dem Ergebnis, dass undurchforstete Sitkafichten-Bestände windwurfsicherer seien als durchforstete. Dieses Ergebnis ist allerdings kritisch zu betrachten. Grundlage der Modellberechnungen sind nämlich immer Bestände mit Einheitsbäumen von mittlerem Durchmesser und mittlerer Höhe. Die negativen Aspekte von Durchforstungen wie die größere Schwingungsamplitude

gehen in die Kalkulationen mit ein, eine bessere Verankerung aufgrund adaptiven Wurzelwachstums aber nicht (KNOKE und SEIFERT 2008). Die Resistenz eines Baumes gegenüber Windwurf wird in allen Fällen mit den Parametern Stammgewicht, Baumart, Bodentyp und Bodenbehandlung berechnet. Regressionsanalysen zum Zusammenhang von Stammgewicht und Widerstandsmoment von FRASER und GARDINER (1967) mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,52 bilden die einzige Grundlage zur Beschreibung der Verankerung. Die vorstehend genannten weiteren Komponenten der Verankerung wie Zugwurzeln auf der Luvseite und Druckwurzeln auf der Leeseite (COUTTS 1983, 1986, BLACKWELL et al. 1990 und NIELSEN 1990, 1991) werden nicht berücksichtigt.

Auch PELTOLA et al. (1999) kamen mit „HWIND“ zu dem Ergebnis, dass durchforstete Fichtenbestände ein größeres Sturmschadensrisiko bergen als undurchforstete. In diesem Modell wird zwar das Gewicht des Wurzeltellers kalkuliert, aber adaptives Wurzelwachstum aufgrund von Durchforstungen geht auch hier nicht ein.

Gegebenenfalls könnte man diese Defizite beider Modelle beseitigen, indem man, wie bei COUTTS et al. (1999) vorgeschlagen, ein Verankerungsmodell als weitere Komponente anfügt.⁴⁸ Wichtig wäre auch eine Unterscheidung zwischen kurzfristigen (mögliche Reduktion der Resistenz) und langfristigen Effekten (mögliche Erhöhung der Resistenz) von Durchforstungen, wie bei KNOKE und SEIFERT (2008) gefordert.

Der laut BAZZIGHER und SCHMID (1969), MARSCH (1989a, 1989b) THOMASIIUS (1988b) und SCHMID-HAAS (1991, 1994, 2002) für die Stabilität sehr entscheidende Faktor der Fäule findet auch in keines der Modelle Eingang. Weiterhin sind beide Modelle sehr empfindlich gegenüber Ungenauigkeiten bei den Eingangsgrößen oder Beziehungen. „HWIND“ besonders bei den Werten, mit denen die Wurzelcharakteristika berechnet werden, „GALES“ bei den Werten, mit denen das Stammgewicht (und damit die Verankerung) berechnet wird.

„FOREOLE“ baut auf den Modellen „GALES“ und „HWIND“ auf. Hier besteht aber die Möglichkeit, Bestände mit unterschiedlichen Strukturen zu modellieren. Die Berechnungen prognostizieren, dass in strukturierten Beständen eher Streuschäden auftreten, während einschichtige Bestände zu Flächenschäden tendieren.

Generell sind mechanistische Modelle auf eine Fülle von Detailinformationen angewiesen, die aus den in der forstlichen Praxis verfügbaren Daten oft nicht abgeleitet werden können. Eine Übertragung der Modelle auf andere Regionen ist oft nur sehr eingeschränkt möglich. Einer

⁴⁸ Siehe beispielsweise BLACKWELL et al. (1990) für ein solches Verankerungsmodell.

Untersuchung von EHLER (2005) zufolge ist das Modell ForestGALES beispielsweise nicht für die Verhältnisse in Baden Württemberg anwendbar. Abgesehen davon, dass GALES für viele Baumarten nicht parametrisiert ist, deckt es auch einen zu geringen Durchmesserbereich mit empirisch gesicherten Werten ab. Eine Parametrisierung für andere Baumarten ist zwar möglich, setzt aber wieder aufwendige Erhebungen und Zugversuche voraus. Auch der Einsatz in gemischten Beständen ist nicht möglich und Bestände mit größeren Baumabständen können nicht befriedigend abgebildet werden (HALE et al. 2004).

4.1.1.5 Folgerungen für die Untersuchung

Für Bestände in den Alpenregionen wurde bisher noch kein Schadensmodell entwickelt (LÄSSIG 2003) und keines der genannten Modelle ist ohne weiteres auf diese spezielle Situation übertragbar. Dennoch lassen sich wichtige Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich der Einflussfaktoren von Sturm- und Schneeschäden ableiten, die in vielen Bereichen auch in der Bergmischwaldzone Gültigkeit haben.

In der Feldstudie wurden deshalb behandelte und unbehandelte Flächen hinsichtlich wichtiger einzelner Prädiktoren für Schnee- und Sturmschäden verglichen. Auch wenn h/d-Verhältnis und Kronenlänge von einigen Autoren als Stabilitätskriterien hinsichtlich Windwurfschäden kritisch betrachtet werden, wurden sie als generelle Resistenzkriterien aufgenommen. Zum einen, da sie als einflussreich hinsichtlich Windbruch gelten, zum anderen wegen der Bedeutung hinsichtlich Schneebruchresistenz. Den Erkenntnissen von SCHMIDHAAS (1991, 1994, 2002) und LÄTT (1991) folgend wurde der Kronenzustand als Weiser für Vitalität und Stabilität aufgenommen. Neben der Bestandesdichte wurden Indizes verglichen, die dazu geeignet sind, Horizontal- und Vertikalverteilung in den Beständen zu interpretieren. Schließlich wurde noch untersucht, ob sich die getätigten Maßnahmen mit den in der Literatur empfohlenen decken oder von ihnen unterscheiden.

4.1.2 Studien zu elastizitätsbeeinflussenden Faktoren

4.1.2.1 Literaturlauswertungen

Folgende Faktoren sind entscheidend für die Erhöhung der Elastizität in Bergwaldbeständen (nach LANGENEGGER 1979, ZELLER 1982, OTT und SCHÖNBÄCHLER 1986, BRANG 2001, RAMMIG et al. 2005, ergänzt):

- Vorhandene Samenbäume
- Verjüngungsgünstige Kleinstandorte
- Nur wenig Konkurrenzvegetation

- Ein Vorrat (in ausreichender Höhe) an kleinen Verjüngungspflanzen, die bei Unterbrechung des Kronenschlusses zu wachsen beginnen
- Genügend weiter entwickelte Verjüngungspflanzen, wo der Kronenschluss bereits unterbrochen ist
- Eine dem Standort angemessene Mischung der Verjüngung
- Ein angepasster Wildstand, der die Entwicklung der Verjüngung nicht gefährdet
- Hohe genetische Variabilität der Verjüngung

Maßnahmen, die dazu geeignet sind, in der Bergmischwaldzone Verjüngung zu induzieren, wurden bereits in Kap. 2.4.2. beschrieben. An dieser Stelle werden zur Vervollständigung noch einige Rahmenwerte zu den oben genannten Faktoren zusammengetragen.

Vorhandene Samenbäume: FREHNER et al. (2005) sahen darin eine wichtige Voraussetzung für die Naturverjüngung. Sie gaben an, dass sich die Buche im Allgemeinen ausreichend verjüngt, wenn sie mit 30% im Altbestand vertreten ist. Bei der Tanne genüge ein Mischungsanteil von 10%. SCHODTERER (1998) berechnete die Minimalzahl an Samenbäumen anhand der geschätzten Samenausbreitung. Bei Tanne sei dies bis 30 m, bei Buche bis ca. 15 m. Daraus ergab sich ein Minimum von 11 fruktifizierenden Tannen und 45 Buchen je Hektar. Diese Werte wären (ohne Berücksichtigung genetischer Aspekte) rechnerisch nötig, um Tanne oder Buche flächig zu verjüngen.

Verjüngungsgünstige Kleinstandorte: Dieser Aspekt ist vor allem im subalpinen Bereich von Bedeutung (OTT et al. 1997, BRANG 2001). In der Bergmischwaldzone lässt sich in der Regel durch entsprechende Eingriffe relativ leicht Verjüngung erzeugen (BURSCHEL et al. 1990, AMMER 1996a, 2003).⁴⁹ Allerdings muss auf Standorten, die zur Degradation neigen, wie beispielsweise trockene Südhänge im Hauptdolomit, rechtzeitig für Verjüngung auf geeigneten Kleinstandorten gesorgt werden (BAIER und GÖTTLEIN 2006a, 2006b, BAIER et al. 2007a).

Nur wenig Konkurrenzvegetation: FREHNER et al. (2005) gaben hier als Richtwert an: „Fläche mit starker Vegetationskonkurrenz <1/3“. AMMER (1996a) stellte fest, dass Konkurrenzvegetation in einem ziemlich weiten Bereich (<80% Bedeckungsgrad) weder Ankommen noch Überleben von Verjüngungspflanzen beeinträchtigt. Auf das Wachstum der Pflanzen jedoch hat die Konkurrenzvegetation einen signifikant negativen Einfluss. Mit zunehmendem Lichtangebot verstärken sich diese negativen Auswirkungen.

Verjüngungssollzahlen: Auch in sehr dichten Beständen bilden sich bei entsprechender Anzahl von Samenbäumen sehr viele Sämlinge. BURSCHEL et al. (1993) und AMMER (2003) ver-

⁴⁹ Vgl. Kap. 2.

zeichneten auf einer Kontrollparzelle in ihrem Bergmischwaldversuch mit 68% Überschirmung über 110.000 Pflanzen/ha. Diese vergehen aber wieder, so lange keine Auflichtung erfolgt und werden ständig durch neue Sämlinge erneuert (HOHENADL 1981). Entscheidend ist die Anzahl der Pflanzen, welche sich etablieren können und so für den Folgebestand wirksam werden. SCHREYER und RAUSCH (1977) untersuchten in der Bergregion Miesbach 17.000 ha Wald und kamen auf eine durchschnittliche Pflanzenzahl (Höhe 0,2-1,85 m) von 2600 Pflanzen/ha. Allerdings wiesen über 40% der Flächen Dichten von unter 1000/ha auf. SCHÖNENBERGER und BRANG (2006) berichten von Pflanzungen auf Vivian-Windwurfflächen in der Größenordnung von 1800-2600 Stück/ha.

SCHODTERER (1998) ging für die generelle Begründung eines Folgebestandes von 2500 benötigten Pflanzen/ha aus. Darüber hinaus berechnete er Mindestzahlen für Buche und Tanne sowohl für Wirtschaftswald als auch für Schutzwald. In einem Schutzwald der potenziellen natürlichen Vegetation (PNV) „Fichten-Tannen-Buchenwald“ ging er von benötigten 250 Tannen pro ha und 750 Buchen pro ha aus. Im Wirtschaftswald berechnete er die Untergrenze, bei der die Baumarten der PNV gerade noch erhalten werden können. Hier kommt er auf 55 Tannen/ha und 225 Buchen/ha. Bei einer kalkulatorischen Reduktion bis zum Verjüngungsalter um den Faktor 5 können so die oben geforderten 11 Tannen und 45 Buchen-Samenbäume je ha erzielt werden. Mit diesen wird bei Bedarf wieder ein flächig gemischter Bestand erzeugt.

FREHNER et al. (2005) gaben Sollzahlen für den Anwuchs (10-40 cm Höhe) und für den Aufwuchs (40 cm Höhe – 12 cm BHD) an, welche sie nach dem Modellansatz des minimalen Jungwuchsdeckungsgrades von BRANG und DUC (2002) berechnet haben. Die Minimalzahl für den Anwuchs liegt bei 10 Buchen/Tannen pro Ar (=1000/ha), durchschnittlich alle 3 m und die Idealzahl bei 50 Buchen/Tannen pro Ar (=5000/ha), durchschnittlich alle 1,5 m. Mit der Abstandsangabe drückten sie gleichzeitig aus, dass die gleichmäßige Verteilung der Verjüngung über die Fläche von großer Bedeutung ist.

Dem Standort angemessene Mischung: Neben der Mindestzahl sind die Baumartenanteile pro Größenklasse in der Verjüngung von entscheidender Bedeutung (RUEGG und NIGG 2003). Wichtig ist ein entsprechender Anteil an stabilen Laubbäumen. Daneben darf aber in Lawenschutzwäldern der Anteil immergrüner Nadelbäume nicht unter 30% sinken. Detailliertere schutzwaldgerechte Bestockungsziele wurden bereits in Kap. 2.3.2 angegeben.

Angepasster Wildstand: Für die größtmögliche Elastizität eines Bestandes müssen Verluste durch Verbiss vermieden werden. EIBERLE und NIGG (1987) haben Grenzwerte für Verbissintensitäten errechnet, ab denen es nachweislich zu Totverbiss kommt (Tab. 4.3). Nur wenn

die Verbissintensität längerfristig unter diesen kritischen Werten bleibt, können ungewollte Verschiebungen in der Baumartenzusammensetzung vermieden werden.

Tab. 4.3: Grenzwerte für die kritische jährliche Verbissintensität nach EIBERLE und NIGG 1987

Baumart	Tanne	Fichte	Kiefer	Lärche	Bergahorn	Esche
Kritische Verbissintensität	9%	12%	12%	22%	30%	35%

Auf diesen Werten aufbauend berechnete EIBERLE (1989) die Mortalität der Bäume bei unterschiedlichen Verbissintensitäten. Für Fichte und Tanne ergab sich ab einem jährlichen Verbiss von 35% eine Mortalität von nahezu 100%. RÜEGG und NIGG (2003) konnten diese errechneten Werte anhand langfristiger Verjüngungsuntersuchungen in der Praxis bestätigen.

Neben den kritischen Verbissintensitäten für *ein Jahr* gaben EIBERLE und Nigg (1987) auch eine allgemeine Regel für das generell zulässige Verbissprozent (bis die Pflanzen dem Äser entwachsen sind) an. Im Größenbereich zwischen 10 cm und 1,30 m sollte der durchschnittliche Anteil verbissener Tannen und Fichten 30% nicht überschreiten.⁵⁰ Dieser Wert entspricht etwa einer aktuellen jährlichen Verbissbelastung von 12%.

Untersuchungen von PRIETZEL und AMMER (PRIETZEL 2007a, 2007b, PRIETZEL und AMMER 2008) haben gezeigt, dass langjähriger Verbiss die Verjüngung nicht nur direkt beeinträchtigt, sondern auch für erhöhtes Schneegleiten, gesteigerte Erosion und Humusschwund sorgt. Langfristig werden dadurch die Verjüngungsbedingungen deutlich verschlechtert.

4.1.2.2 Folgerungen für die Untersuchung

Den Literaturlauswertungen folgend wurden die oben genannten Kriterien in den Untersuchungsflächen analysiert. Der Forschungsfrage entsprechend wurden zwar Fichtenreinbestände untersucht; insofern konnte die Anzahl der Samenbäume in den ausgewählten Flächen nicht den in der Literatur geforderten Zahlen entsprechen. Dennoch wurde geprüft, ob sich zumindest stellenweise gemischte Verjüngung einstellt, ob diese die genannten Verjüngungssollzahlen erreicht und ob diese sich aufgrund der getätigten Maßnahmen weiter entwickelt.

⁵⁰ Hier sind alle Pflanzen gemeint, die einen Verbisschaden aufweisen. Dieser Schaden muss nicht im aktuellen Jahr entstanden sein.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Untersuchungsaufbau und Lage der Flächen

Die Feldstudien stellen grundsätzlich einen retrospektiven Vergleich zwischen behandelten und unbehandelten Fichtenreinbeständen dar. Als Fichtenreinbestände wurden Bestände definiert, deren Anteil an Mischbaumarten 10% nicht übersteigt. Es wurde versucht, möglichst ceteris paribus Flächenpaare zu finden, die sich ansonsten nur in der Behandlung unterscheiden: gänzlich unbehandelte Flächen und Flächen, in die waldbaulich eingegriffen worden war. Dazu wurden zum einen Revierförster befragt und zum anderen Revierbücher mehrerer Generationen ausgewertet. Hilfreich hierbei waren auch die alten Forstbetriebskarten mit ihren sehr kleinflächigen Bestandesausscheidungen. Abb. 4.2 zeigt den Ausschnitt einer Forstbetriebskarte des Revieres „Laubau“ von 1962.

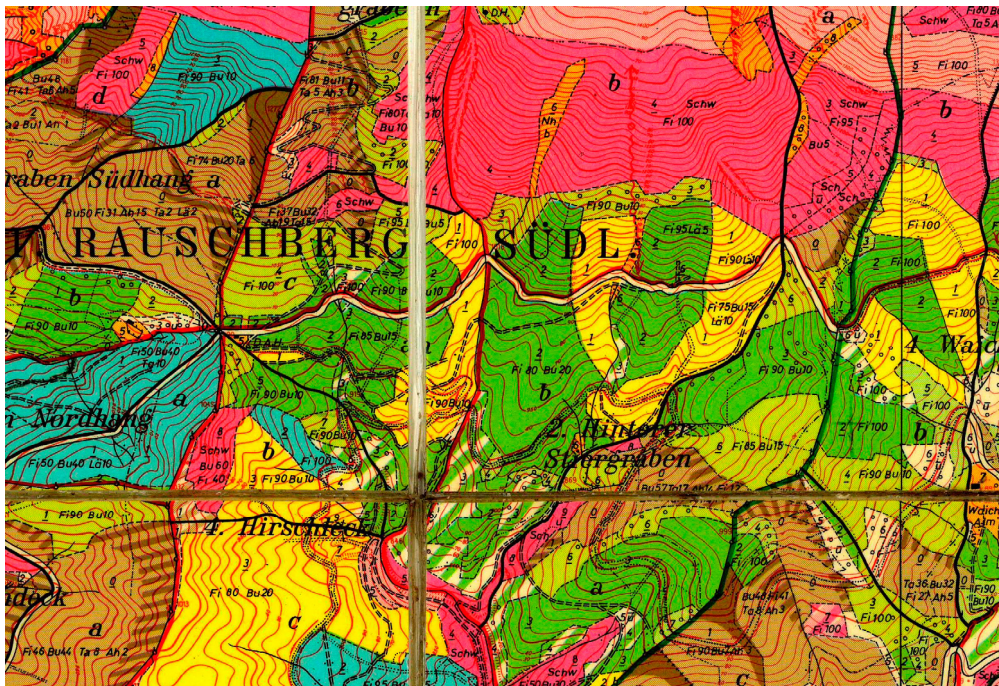


Abb. 4.2: Ausschnitt einer Forstbetriebskarte des Reviers „Laubau“ von 1962

Die wichtigste Informationsquelle war aber letztlich die Überprüfung vor Ort. Oft mussten vermeintlich unbehandelte Bestände doch wieder ausgeschlossen werden, wenn beispielsweise vor geraumer Zeit ungeordnete Brennholznutzungen stattgefunden hatten. Dies ließ sich anhand der Stöcke z.T. über Zeiträume von mehr als 30 Jahren nachvollziehen, da die Stöcke im Gebirge nur sehr langsam verrotten.

Die Bandbreite der getätigten Maßnahmen war relativ hoch und es war nicht möglich, diese zu kategorisieren. Selbst wenn dies möglich gewesen wäre, hätte man nicht jede Eingriffsart

und -stärke mit Untersuchungsflächen und entsprechenden Wiederholungen untersetzen können. Deshalb wurde jeglicher waldbauliche Eingriff als stabilitätserhöhend, d. h. die Resistenz oder Elastizität verbessernde Maßnahme angesehen. Es wurde nicht zwischen Eingriffen mit Durchforstungscharakter und Eingriffen mit Verjüngungscharakter unterschieden. Alle Eingriffe wurden als kleine gerichtete Störungen verstanden, die dazu beitragen, größere, ungerichtete Störungen zu vermeiden (OLIVER und LARSON 1996, BURSCHEL und HUSS 1997). Vgl. BURSCHEL und HUSS (1997, S. 87): „Jede waldbauliche Maßnahme, die die Bestockungsdichte reduziert, stellt zumindest vorübergehend eine Störung des Systems und seiner Stabilität dar. Sie so vorzunehmen, dass es langfristig zu einer Erhöhung der Stabilität kommt, [...] ist eines der Ziele jeden Waldbaus.“

Die Auswahl der Untersuchungsflächen erfolgte also nicht zufällig, sondern aus den bereits existierenden Gruppierungen „behandelt“ und „unbehandelt“ heraus. Gemäß BORTZ (1993) handelt es sich demnach um einen „quasiexperimentellen“ Untersuchungstyp. Die Stichprobengruppen sind durch die Entscheidungen der Wirtschaftler, ob ein Bestand durchforstet wird oder nicht, beeinflusst. Damit birgt der Ansatz die Gefahr, dass die Gruppierungen durch Störgrößen überlagert sind. Beispielsweise kann es sein, dass die Behandlung immer dort aufhört, wo das Gebiet steiler und unwegsamer und damit der Eingriff unrentabel wird. Durch den quasiexperimentellen Ansatz ist also die interne Validität der Untersuchung eingeschränkt. Diesem Umstand wurde allerdings insofern entgegengewirkt, als die zu vergleichenden Gruppierungen nach Möglichkeit parallelisiert wurden (BORTZ 1993): Potenzielle Störgrößen wie beispielsweise die Hangneigung, Höhenlage, oder Exposition wurden paarweise möglichst gleich gehalten.

Die externe Validität, also die Generalisierbarkeit der Untersuchung, wurde möglichst hoch angesetzt, indem die Flächen über einen großen Bereich der bayerischen Alpen verteilt wurden (Abb. 4.3).

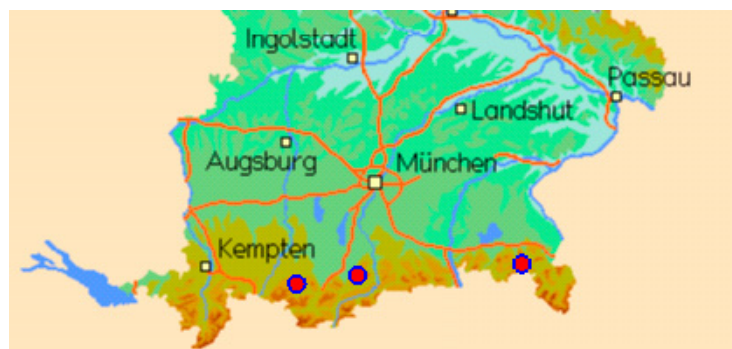


Abb. 4.3: Übersicht des Forschungsgebietes. Rote Punkte= Untersuchungsstandorte

Insgesamt wurden drei Wiederholungen durchgeführt: im Bereich der ehemaligen Forstämter Ruhpolding, Oberammergau und Bad Tölz (Abb. 4.4).



Abb. 4.4: Die Untersuchungsstandorte „Oberammergau“, „Tölz“ und „Ruhpolding“

An jedem der drei Orte wurden Versuchsflächenpaare in den Altersstufen Jugendstadium, Wachstumsstadium und Reifestadium gesucht. Damit ergab sich folgende Untersuchungsanordnung (Abb. 4.5):

	Ruhpolding		Oberammergau		Tölz	
Jugendstadium (0,1 ha)	B	U	B	U	B	U
Wachstumsstadium (0,2 ha)	B	U	B	U	B	U
Reifestadium (0,2 ha)	B	U	B	U	B	U

Abb. 4.5: Untersuchungsaufbau: B=behandelt, U=unbehandelt, die drei Orte stellen Wiederholungen dar

Die Anordnung diente nicht nur dazu, die Effekte der waldbaulichen Behandlungen in den verschiedenen Altersstufen zu untersuchen, sondern auch der Erstellung von Wuchsreihen. Hierbei wird ein zeitliches Nacheinander durch ein räumliches Nebeneinander abgebildet (PICKETT 1989, PRETZSCH 2002). Diese Möglichkeit zur Abbildung der zeitlichen Entwicklung war auch für den ökonomischen Teil der Untersuchung von Bedeutung (Kap. 5).

Die Parzellen wurden wie in Tab. 4.4 dargestellt verschlüsselt. Daraus ergibt sich beispielsweise für das behandelte Wachstumsstadium in Ruhpolding die Zahl 121.

Tab. 4.4: Verschlüsselung der Untersuchungsparzellen

Ort	Schlüssel
Ruhpolding	1
Oberammergau	2
Tölz	3
Altersstadium	Schlüssel
Jugendstadium	1
Wachstumsstadium	2
Reifestadium	3
Behandlung	Schlüssel
behandelt	1
unbehandelt	2

Der Altbestand wurde in den Jugendstadien auf 0,1 ha (25 x 40 m) aufgenommen, in den anderen beiden Altersstadien auf 0,2 ha (40 x 50 m). In einem Umfangsstreifen von 15 m um die Parzellen wurden alle Mischbaumarten (Baumart, BHD und Position) erfasst.

Die Verjüngung wurde in konzentrischen Probekreisen erhoben: auf 0,5 m² wurden alle Pflanzen aufgenommen und auf 2 m² die Pflanzen ab 20 cm Höhe. Der Abstand zwischen den Kreisen betrug 5 m: daraus ergaben sich 40 Kreise in den Jugendstadien und 80 Kreise in den restlichen Stadien. Abb. 4.6 zeigt die schematische Darstellung einer Parzelle aus Wachstums- bzw. Reifestadien.

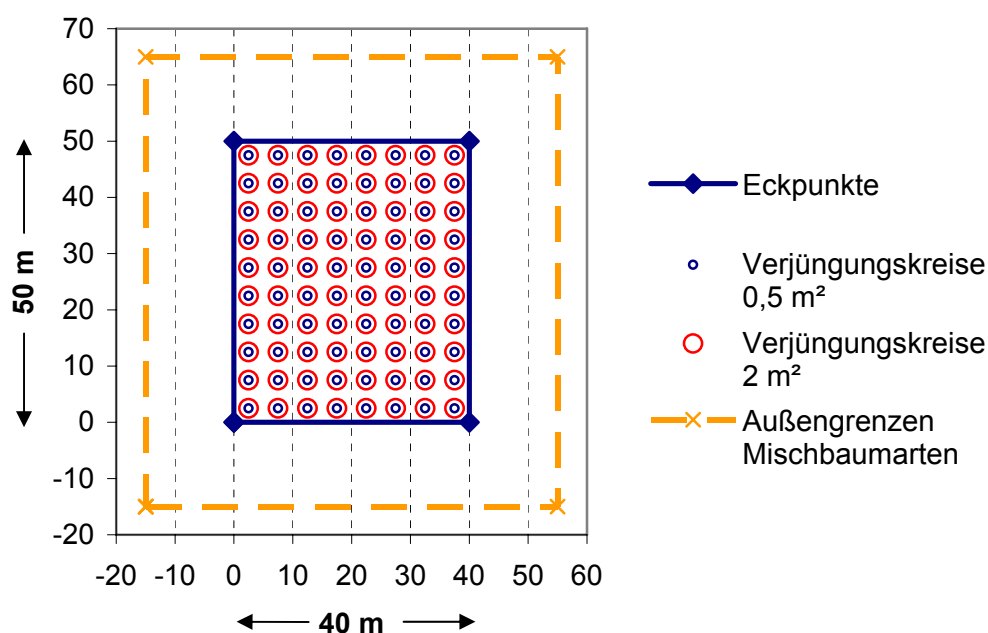


Abb. 4.6: Schematische Darstellung einer Untersuchungsparzelle

Wie bei AMMER et al. (2004) beschrieben, kann sich bei dieser Art der systematischen Verjüngungsaufnahme der Standardfehler erhöhen, wenn die Anordnung der Verjüngungspflanzen nicht zufällig, sondern geklumpt ist. Dieses Risiko wurde aus Gründen der Praktikabilität in Kauf genommen.

4.2.2 Datenermittlung

4.2.2.1 Flächendaten

Auf sämtlichen Parzellen wurde eine Standortsbeschreibung nach dem von EWALD entwickelten System zur Standortskartierung des bayerischen Hochgebirges (EWALD 1997, 1999, EWALD und BINNER 2007) vorgenommen. Dabei werden die Standorte nach einem dreistelligen System verschlüsselt. Die erste Stelle steht für das Substrat (stark saure Lehme „S“, nährstoffreiche Lehme „s“ und Kalkverwitterungslehme „k“ sowie einige Sondersubstrate). Die zweite Stelle repräsentiert die Waldgesellschaft und die Höhenstufe. Im Normalfall sind dies „B“ für den montanen Buchen-Tannen-Fichtenwald, „b“ für den hochmontanen Fichten-Tannen-Buchenwald und „F“ für den subalpinen Fichtenwald. Dazu kommen einige durch Sonderbedingungen erzwungene Baumartenkombinationen wie z.B. edaphisch bedingte Tannenwälder („T“). Die dritte Stelle steht für den Wasserhaushalt (1-9) (Abb. 4.7).

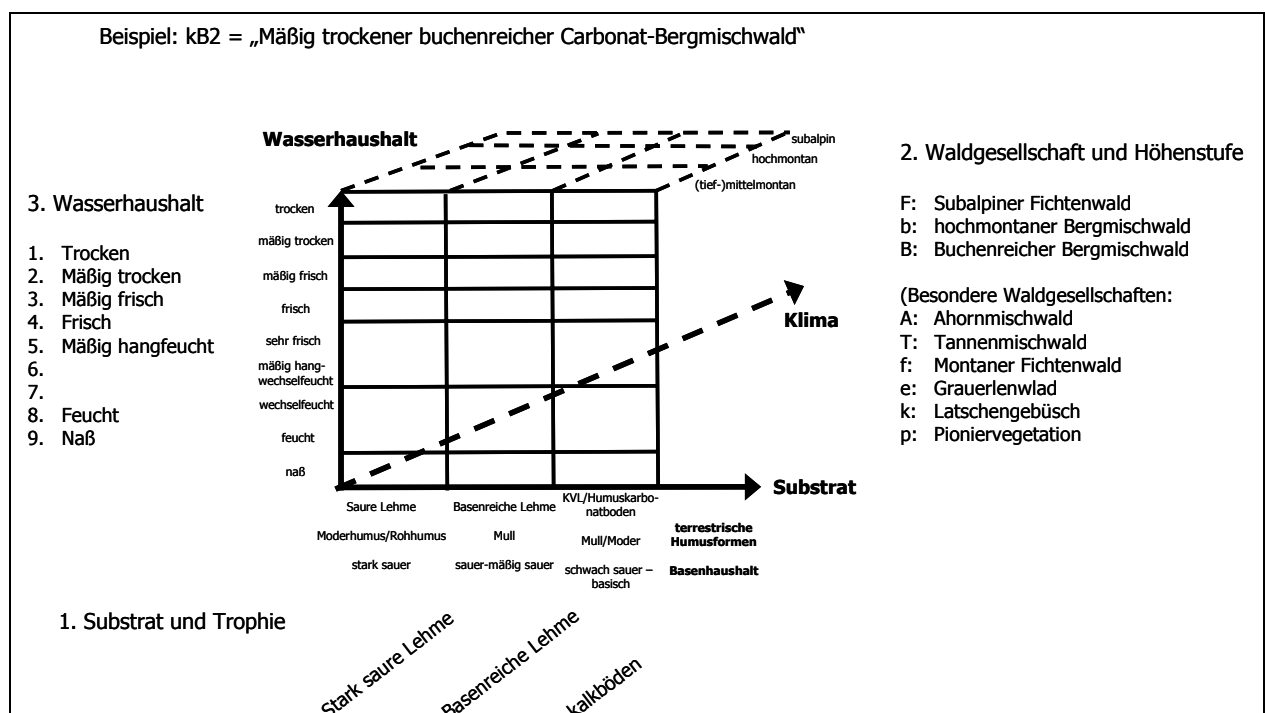


Abb. 4.7: Standortsklassifizierung im Hochgebirge (nach EWALD 1999)

Für die Kartierung der Bestände gibt es zwei Bestimmungsschlüssel. Während der eine schwerpunktmäßig die Vegetation zur Bestimmung nutzt, ist der zweite Schlüssel mit Schwerpunkt auf Boden und Humusform auch anwendbar, wenn nicht ausreichend Vegetation vorhanden ist. Dies war in einigen unbehandelten sehr dunklen Beständen der Fall.

Anhand der Standortseinheiten wurden die Bestände anschließend den pflanzensoziologischen Einheiten zugeordnet (EWALD und BINNER 2007, WALENTOWSKI et al. 2004). Die Höhenlage der Bestände wurde mittels GPS erhoben und anhand der Forstbetriebskarten auf Plausibilität geprüft.

Aus Vermessungen mit dem Theodoliten wurden die Exposition, die durchschnittliche Hangneigung und die auf die Horizontale projizierte Flächengröße abgeleitet.

4.2.2.2 Datenerhebung im Altbestand

Die in Tab. 4.5 aufgelisteten Variablen wurden mit folgenden Ausnahmen bei allen Bäumen über 1,30 m Höhe erhoben: Die Höhen und Kronenansatzhöhen wurden bei jeweils 30 Bäumen pro Parzelle aufgenommen – paritätisch über die ersten vier Kraftschen Klassen verteilt (KRAFT 1884).

Aus diesem Kollektiv wurden zur Zuwachsbestimmung bei mindestens 16 Bäumen Bohrkerne entnommen, wobei die Probebäume ebenfalls paritätisch über die ersten vier Kraftschen Klassen verteilt und zufällig ausgewählt wurden.

Tab. 4.5: Erhobene Größen im Altbestand

Erhobene Größe	Verfahren	Skalierung
Baumart	Visuelle Ansprache	nominal
Durchmesser auf Stockhöhe	Messung mit dem Umfangmaßband in mm	metrisch
BHD	Messung mit dem Umfangmaßband in mm	metrisch
Durchmesser bei 1,80 m	Messung mit dem Umfangmaßband in mm	metrisch
Höhe	Messung mit Vertex III	metrisch
Kronenansatzhöhe	Messung mit Vertex III, ab dem ersten grünen Primärast	metrisch
Soziale Stellung	Ansprache der Kraft'schen Klasse (KRAFT 1884)	ordinal
Soziale Stellung (vereinfacht)	Einteilung in 3 Stufen: 1. Frei: Krone maximal 20% von Nachbarn bedrängt 2. Mittel: Krone 21-50% von Nachbarn bedrängt 3. Unterdrückt: Krone über 50% von Nachbarn bedrängt	ordinal
Schäden	Visuelle Ansprache in 7 Stufen und deren Kombinationen 1 kein Schaden 2 Schälschaden 3 Schneebruch 4 Windwurf 5 Biotischer 6 Fällschaden 7 tot	nominal
Kronenklasse	1 < ¼ bekront 2 ¼ - ½ bekront 3 > ½ bekront	ordinal
Vitalität	Visuelle Ansprache in Anlehnung an das System der Waldzustandserhebung (KENNEL 1983, BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2001a) 0 ohne Schadensmerkmale, Nadelverlust bis 10% 1 schwach geschädigt, Nadelverlust 11 - 25%, Kronenverlichtung von innen nach außen, am weitesten fortgeschritten ca. 2-3 m unterhalb des Gipfels 2 mittelstark geschädigt, Nadelverlust 26 - 60%, Seitenäste 2.Ordnung teilweise entnadelt; dadurch Erscheinungsbild lärchenähnlich 3 stark geschädigt, Nadelverlust über 60%, stark verlichtete Kronen; mehr "Kronengerippe" als Nadelmasse sichtbar 4 abgestorben	ordinal
Jährlicher Zuwachs	Bohrspanentnahme auf 1,30 m Höhe mit dem Presslerschen Zuwachsbohrer; gemäß PRETZSCH (2002) wurden die Bohrungen in 45° zur Hauptwindrichtung, also NO und SW entnommen.	metrisch
Alter	Bohrspanentnahme auf Stockhöhe	metrisch
Stammfußkoordinaten	Messung mit elektronischem Theodoliten (Leica Wild TC 1010): x-, y-, und z-Koordinaten	metrisch

Nachdem es sich bei den untersuchten Beständen durchwegs um nahezu gleichaltrige Bestände handelte, erschienen drei Altersbohrungen pro Parzelle ausreichend. Die Zuwachs-

bohrungen wurden großteils bis ins Mark geführt und konnten somit zur Plausibilitätsprüfung für die Altersbohrungen herangezogen werden.

Generell wurden sämtliche gemessenen Werte mit verschiedenen deskriptiven Verfahren auf Plausibilität geprüft.

Alle visuellen Ansprachen (Kronenklassen, Vitalität) wurden von denselben Personen durchgeführt, um systematische Fehler auszuschließen.

4.2.2.3 Berechnung zusätzlicher Altbestandsvariablen

Brusthöhendurchmesser der geschälten Bäume: Auf einigen Parzellen, die sehr viele geschälte Bäume aufwiesen, war es notwendig, den Durchmesser in 1,80 m Höhe im ungeschälten Bereich der Stämme zu messen. Der BHD der geschälten Bäume wurde anschließend über eine lineare Regression (Abb. 4.8) aus einer ausreichenden Anzahl ungeschälter Bäume geschätzt (N=234). Aus der Regressionsanalyse ergab sich folgende Funktion:

$$BHD = 1,33303 + 1,0491 \cdot d_{1,80} \quad (4.1)$$

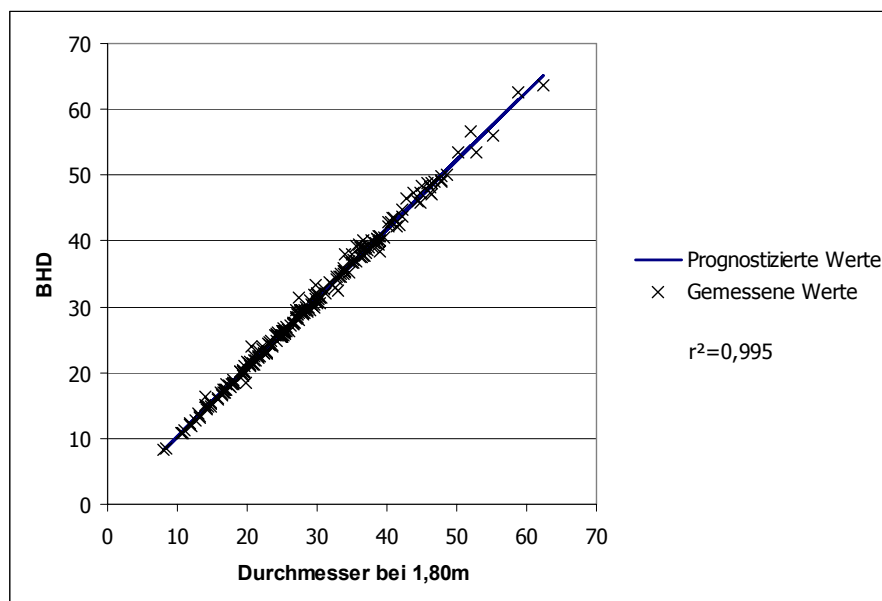


Abb. 4.8: Zusammenhang zwischen BHD und Durchmesser in 1,80 m Höhe

Stockdurchmesser: Auf den behandelten Parzellen wurden an 30 Bäumen Messungen des Durchmessers auf Stockhöhe vorgenommen. Mittels linearer Regression wurde der Zusammenhang zwischen Stockdurchmesser und BHD geschätzt. Dies ermöglichte es, den BHD der

ausgeschiedenen Bäume beim Zeitpunkt des Eingriffes zu rekonstruieren (Gleichung 4.2, Bestimmtheitsmaß 0,96).

$$BHD = 0,75467 + 0,71556 * d_{\text{Stockhöhe}} \quad (4.2)$$

Es wurden deshalb auch die Durchmesser der verbliebenen Stöcke im Bestand vermessen und ihre Position bestimmt. Sofern in dem betreffenden Bestand schon zwei Eingriffe stattgefunden hatten, wurden die Stöcke nach Verwitterungsgrad in „alt“ und „neu“ eingeteilt. Die Ansprache konnte in allen Fällen zweifelsfrei getroffen werden.

Höhen: Zur Schätzung der Höhe von Bäumen, an denen keine Höhenmessung erfolgt war, wurden parzellenweise Bestandeshöhenkurven erzeugt. Dabei wurde einerseits auf eine etablierte Formel von MICHAÏLOFF (1943) zurückgegriffen, andererseits wurden auch eigene Bestandeshöhenkurven erzeugt, indem jeweils zum BHD ein Exponent geschätzt wurde.

Weiterhin wurde ein gemeinsames Bestandeshöhenkurvensystem für alle Untersuchungsbestände erstellt. In Anlehnung an die Erstellung regionaler Höhenkurvensysteme bei SLOBODA (1993), wurde zunächst die Gleichung von Michailoff um die Variablen Alter und Bonität erweitert. Allerdings brachte eine mit denselben Variablen erweiterte Höhenkurve mit geschätztem Exponenten bessere Ergebnisse. Die Einbeziehung der Variable Bonität führte jedoch in bestimmten Bereichen zu unplausiblen Ergebnissen, sodass ein etwas weniger genaues aber robusteres Modell mit den Variablen Alter und BHD verwendet wurde (4.3). Die zugehörigen Parameter der Funktion sind in Tab. 4.6 enthalten.

$$h = b_0 + b_1 \cdot BHD^{0,1} + b_2 \cdot \text{Alter} \quad (4.3)$$

Tab. 4.6: Parameter der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Bestandeshöhen. (N= Anzahl der verwendeten Bäume nach Ausreißeranalyse, in Klammern der Wert vor Ausreißeranalyse).

Universelle Bestandeshöhenkurve		N = 455 (486)	r ² =0,90	p < ,0001
		Mittl. einfache Abweichung:		± 1,72
Variable	Parameter	Standardfehler des Parameters	Parziales Bestimmtheitsmaß	Signifikanzniveau (p)
y = Höhe [m]				
Konstante	b ₀	-98.36901	2.16557	<0,001
BHD ^{0,1} [cm]	b ₁	85.06538	1.67066	0,886 <0,001
Alter [Jahre]	b ₂	0.04636	0.00595	0,014 <0,001

Die Erstellung des Höhenkurvensystems mit dem Parameter Alter ermöglichte es, auch Höhen der Bestände zu einem zurückliegenden Zeitpunkt, beispielsweise dem Zeitpunkt des Eingriffes, schätzen zu können.

Kronenansatzhöhen: Die Kronenansatzhöhen waren Gegenstand einer ausführlichen Regressionsanalyse (siehe unten und Ergebnisteil).

Strukturbeschreibende Größen: Auch wenn bei der Flächenauswahl reine oder nahezu reine Fichtenbestände gesucht wurden, enthielten die meisten Bestände einzelne Mischbaumarten. Die *Baumartenanteile* wurden standflächengewichtet errechnet (Gleichung 4.4). Dabei wurden die Parameter verwendet, welche bei der 1. und 2. Bundeswaldinventur zur Anwendung kamen (DAHM 1995).

$$sfl = b_0 + b_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot BHD^2 \quad (4.4)$$

sfl = Standfläche [m²]
 b₀, b₁ = baumartenspezifische Konstanten (Tab. 4.7)
 BHD = Brusthöhendurchmesser [cm]

Tab. 4.7: Baumartenspezifische Konstanten zur Schätzung der Standfläche

Baumarten	b ₀	b ₁
Fichte	2,85	195
Tanne	2,85	200
Europ. Lärche	5,00	285
Buche	1,33	300
Bergahorn, Vogelbeere, Mehlbeere, Ulme	2,50	330

Zur Beschreibung der *Bestandesdichte* wurden Stammzahl/ha, Grundfläche /ha und der Stand Density Index nach REINEKE (1933) ermittelt. Alle drei Werte wurden auch für die reduzierte Horizontalfläche kalkuliert.

Die *horizontale Verteilung* der Bäume wurde anhand des Aggregationsindex von CLARK und EVANS (1954) dargestellt. Dabei zeigen Werte um 1,0 zufällige Verteilungen an, Werte über 1,0 eine Tendenz zu regelmäßigen Verteilungen und Werte unter 1,0 Tendenzen zu geklumpten Verteilungen.⁵¹

Als Maß für die *Durchmesserdiversifizierung* wurden die Werte \bar{T}_1 , \bar{T}_2 und \bar{T}_3 nach der Methode von FÜLDNER (1995) herangezogen. Dabei werden „strukturelle Vierergruppen“ für jeden Baum betrachtet. Die strukturelle Vierergruppe besteht aus dem Zentralbaum und

⁵¹ NEUMANN und STARLINGER (2001) verglichen Pielou-Index, Cox-Index und Clark-Evans-Index unter anderem auch auf montanen Flächen und kamen zu dem Schluss, dass alle genannten Indizes gut zur Charakterisierung der vertikalen Struktur geeignet sind. Keiner sei den anderen vorzuziehen.

seinen drei nächsten Nachbarn. \bar{T}_1 ist ein Maß für die Durchmesserdifferenzierung zwischen Zentralbaum und dem jeweils ersten Nachbarn und wird folgendermaßen berechnet:

$$T_1 = 1 - \frac{\min(BHD_i, BHD_j)}{\max(BHD_i, BHD_j)} \quad (4.5)$$

Von 1 wird also der Quotient aus kleinerem und größerem BHD abgezogen. Wären die Durchmesser des Zentralbaums und des 1. Nachbarn beispielsweise gleich, ergäbe sich die geringstmögliche Durchmesserdifferenzierung von 0. Hätten sie ein Verhältnis von 0,3, dann wäre der Wert für die Durchmesserdifferenzierung mit 0,7 sehr hoch.

\bar{T}_1 ist demnach die mittlere Durchmesserdifferenzierung von den Zentralbäumen und den jeweils ersten Nachbarn.

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_{1_i} \quad (4.6)$$

\bar{T}_2 und \bar{T}_3 werden nach dem gleichen Ansatz für die zweiten und dritten Nachbarn berechnet. PRETZSCH (2002) gibt für verschiedene Bestände folgende beispielhaften \bar{T}_1 , \bar{T}_2 und \bar{T}_3 -Werte an: Fichtenreinbestand: 0,23, 0,23 und 0,21. Zweischichtiger Mischbestand aus Fichte und Buche: 0,32, 0,31, und 0,32. Plenterwald (nur Bestandesglieder mit BHD >7 cm): 0,48, 0,46 und 0,45.

Für die Beurteilung der *vertikalen Struktur* wurde ein eigener Profilindex P erstellt, der auf dem Artenprofilindex von PRETZSCH (1995, 1996, 2002) basiert. Dieser geht seinerseits auf den Shannon-Index für Diversität (SHANNON 1949) zurück. Beim Shannon-Index wird für jede Art im Bestand ein Produkt aus Artenanteil und logarithmiertem Artenanteil gebildet. Diese Produkte aufsummiert und mit -1 multipliziert ergibt den Diversitätsindex. PRETZSCH (1995) erweiterte den Index indem er den betrachteten Bestand zusätzlich in Höhenschichten einteilte (100-80%, 80-50% und 50-0% der Bestandesmaximalhöhe). Der Artenprofilindex berücksichtigt also, wie die Artenanteile in der Vertikalen verteilt sind.

Bei dem hier zur Anwendung gebrachten *Profilindex* wurden die wenigen einzelnen Mischbaumarten außer Acht gelassen und auf die Artenanteile gänzlich verzichtet. Betrachtet man somit ausschließlich die Verteilung in den Höhenschichten, ergibt sich wieder die gleiche Funktionsstruktur wie beim Shannon-Index:

$$P = - \sum_{i=1}^Z p_i \cdot \ln p_i \quad (4.7)$$

Z = Anzahl der Höhengschichten

p_i = Anteil der Bäume der jeweiligen Schicht an der Gesamtbaumzahl $p_i = \frac{n_i}{N}$

n_i = Anzahl der Bäume in der Höhengschicht i

N = Anzahl der Bäume insgesamt

Für einen Bestand, der in drei Höhengzonen eingeteilt ist, ergibt sich die größtmögliche Struktur bei gleicher Verteilung der Bäume auf die drei Zonen.

$$P_{\max} = \ln(Z) = \ln(3) = 1,1 \quad (4.8)$$

In Anlehnung an die bei SHANNON (1949) berechnete Evenness bzw. den normierten Artenprofilindex nach PRETZSCH (1995) lässt sich daraus ein folgendermaßen standardisierter relativer Profilindex für drei Höhengschichten bilden:

$$P_{rel} = \frac{P}{1,1} \cdot 100 \quad (4.9)$$

Ein ähnlicher Index, bezeichnet als „Vertikale Evenness“ wurde von NEUMANN und STARLINGER (2001) entwickelt und verwendet. Sie arbeiteten jedoch nicht mit der Anzahl sondern mit den Kronenprojektionsflächen der Bäume.

Konkurrenzsituation: Zur genaueren Charakterisierung der Konkurrenzsituation zwischen den Bäumen wurden verschiedene Konkurrenzindizes berechnet. Für die Berechnung des positionsabhängigen Konkurrenzindex KKL nach PRETZSCH (2002) wurde der Waldwachstumssimulator SILVA des Lehrstuhls für Waldwachstumkunde der TU München verwendet (PRETZSCH und KAHN 1998, PRETZSCH et al. 2002). Weitere Indizes nach HEGYI (1974), BIGING und DOBBERTIN (1992), NAGEL (1999) und MÜNDER und SCHRÖDER (2001) (vgl. Tab. 4.8) wurden mit dem von Münder, Schildbach und Schröder am Lehrstuhl für Waldwachstum und Forstliche Informatik der TU Dresden entwickelten Programm „CROCOM“ kalkuliert (MÜNDER 2005).

Bei der Auswahl potenzieller Konkurrenten kamen in CROCOM zwei der vier bei PRETZSCH (2002, S. 267) beschriebenen Methoden zum Tragen:⁵² Zum einen der feste Einflusskreis, wie er in der Originalfassung bei HEGYI (1974) zur Berechnung der Konkurrenz in Jacks Pine-

⁵² Für die Berechnung des KKL in Silva wurde die voreingestellte Routine zur Konkurrentenauswahl beibehalten.

Beständen verwendet wurde. Nachdem bei Hegyi allerdings eher jüngere niedrigere Bestände betrachtet wurden, in der vorliegenden Untersuchung dagegen höhere Fichten, deren Konkurrenzeinfluss weiter reicht, wurde der Einflusskreis mit 7 m gegenüber der Version von HEGYI (1974) etwa verdoppelt. Die zweite verwendete Methode war die Suchkegelmethode, bei der auf den betrachteten Baum ein virtueller Suchkegel mit einem bestimmten Winkel aufgesetzt wird. Alle Nachbarbäume, die in diesen Suchkegel hineinragen, werden als Konkurrenten angesehen.⁵³ Als Öffnungswinkel wurde mit 60° ein Winkel verwendet, der bei verschiedenen Untersuchungen schon sehr gute Ergebnisse erzielt hatte (BACHMANN 1997, 1998, AMMER et al. 2005). Die Ansatzhöhe des Suchkegels wurde bei den Berechnungen nach CROCOM programmbedingt auf die Höhe der größten Kronenausdehnung gesetzt.

Tab. 4.8: Verwendete Konkurrenzindizes (nach MÜNDER et al. 2006, verändert)

Verschlüsselung	Quelle	Formel
KKI_HE	Hegyi (1974)	$KKI = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{d_j}{d_i \cdot (Dist_{ij} + 1)}$
KKI_PR	Pretzsch (1995)	$KKI = \sum_{j=1}^{n_j} Beta_{ij} \cdot \frac{KQF_j}{KQF_i}$
KKI_BD_KF	Biging/Dobbertin (1992, 1995)	$KKI = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{KF_{j(SH)}}{KF_i}$
KKI_BD_KV	Biging/Dobbertin (1992, 1995)	$KKI = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{KV_{j(SH)}}{KV_i}$
KKI_MS	Münder/Schröder (2001)	$KKI = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{VKF_j / VKF_i}{Dist_{ij} + 1}$
KKI_C66	Nagel (1999)	$KKI = \sum_{j=1}^{n_j} KF_{j(HGK_i)}$

- KKI = Konkurrenzindex
 i = Zentralbaum
 j = Konkurrent(en)
 n_j = Anzahl der Konkurrenten des Zentralbaums i
 d = Brusthöhendurchmesser
 Dist_{ij} = Distanz vom Zentralbaum zum Konkurrenten
 Beta = Steigung der Verbindungslinie zwischen Basis des Suchkegels und Wipfelspitze des Konkurrenten
 KQF = horizontale Kronenfläche auf Höhe der Basis des Suchkegels
 KF = horizontale Kronenfläche
 HGK = Höhe der größten Kronenbreite

⁵³ Zur genauen Beschreibung des Verfahrens siehe PRETZSCH (2002), S. 264.

SH	=	Schnitthöhe (der Suchkegelgrenze)
KV	=	Kronenvolumen
VKF	=	vertikale Kronenfläche
h	=	Höhe

Nachdem wegen des großen Aufwands kein Umfassungstreifen um die Untersuchungspartellen aufgenommen werden konnte, musste bei der Konkurrenzberechnung der Randbäume ein Verfahren des Randausgleichs zur Anwendung kommen. SILVA berücksichtigt dies bei der Berechnung automatisch in Form der Linearen Expansion (PRETZSCH 2002). Weil bei CROCOM kein Verfahren zum Randausgleich integriert ist, wurden hier vor der Berechnung der Indizes Wiederholungen der Untersuchungspartellen auf dem Wege der Translation angelagert (MONSERUD UND EK 1974, PRETZSCH 2002).

In allen Fällen blieb die Z-Koordinate außer Ansatz: BACHMANN hatte 1998 in umfassenden methodischen Untersuchungen zur Konkurrenz in Bergmischwaldbeständen für die Fichte keinen Einfluss der Z-Koordinate festgestellt.

Die benötigten Kronendurchmesser wurden mit der in SILVA verwendeten Formel von PRETZSCH und KAHN (1998) berechnet. Die Anwendbarkeit dieser Formel wurde anhand einiger Stichprobenmessungen geprüft.

$$kd = e^{a_0 + a_1 * \ln(bhd) + a_2 * h + a_3 * \ln(\frac{h}{bhd})} \quad (4.10)$$

kd	=	Kronendurchmesser [m]
h	=	Baumhöhe [m]
bhd	=	Brusthöhendurchmesser [cm]
a_0, a_1, a_2, a_3	=	Baumartenspezifische Parameter

4.2.2.4 Datenerhebung in der Verjüngung

Die in Tab. 4.9 aufgelisteten Variablen wurden an allen Verjüngungspflanzen bis 1,30 m Höhe erhoben. Lediglich die Triebblängen wurden nur bei Pflanzen ab 20 cm Höhe aufgenommen.

Auf einigen Parzellen in Stockachsen gepflanzte Tannen wurden gesondert ausgewiesen und bei den Auswertungen der Naturverjüngung aus dem Datensatz entfernt.

Als Maß für die Belichtungsverhältnisse wurde auch für die Verjüngungspflanzen die Konkurrenz durch Altbäume quantifiziert. Dazu wurde, wie bei PRETZSCH (2002, S. 265) vorgeschlagen, an jedem Probekreis ein virtuelles Bäumchen mit Höhe 1,67 m und Kronendurchmesser 1,12 m aufgestellt. Damit konnten die vorstehenden Konkurrenzindizes auch für die Probekreise berechnet werden.

Tab. 4.9: Bei der Verjüngung erhobene Größen

Erhobene Größe	Verfahren	Skalierung
Baumart	Visuelle Ansprache	nominal
Länge	Messung mit dem Meterstab in mm	metrisch
Höhe	Messung mit dem Meterstab in mm (zur Unterscheidung von Länge und Höhe s. AMMER et al. 2004)	metrisch
Triebblängen der letzten drei Jahre	Messung mit dem Meterstab in mm	metrisch
Wurzelhalsdurchmesser 1 cm über Boden	Messung mit Schieblehre in mm	metrisch
Schäden	Visuelle Ansprache in 7 Stufen und deren Kombinationen 1 kein Schaden 2 Verbißschaden 3 Fegeschaden 4 Frost 5 unbekannt 6 tot 7 biotisch	nominal
Vitalität	Grobe Einteilung in 1 gut 2 mittel 3 schlecht	ordinal
Koordinate des Probekreises	Messung mit elektronischem Theodoliten (Leica Wild TC 1010): x-, y-, und z-Koordinaten	metrisch

4.2.3 Statistische Auswertung

4.2.3.1 Auswertungen auf Einzelbaumebene

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Programmpaket SAS 9.1 für Windows durchgeführt. Für einzelne Vorabauswertungen wurde zusätzlich SPSS 15 benutzt.

Als Vorstufe zu den parzellenweisen Varianzanalysen wurden multiple Regressionsanalysen zur Schätzung der Kronenansatzhöhen und zur Schätzung der Einzelbaumzuwächse durchgeführt. Damit sollte nicht nur der Datensatz für die Varianzanalysen komplettiert werden, sondern auch die Wirkung der Eingriffe bzw. Eingriffsstärken auf diese Größen geprüft und ggf. quantifiziert werden. Anstelle der parzellenweisen Berechnung des Durchmesserzuwachses mit einer begrenzten Anzahl an Probestämmen wurde auch hier ein Modell über alle Parzellen erstellt. In dieses Modell wurden möglichst viele parzellenbeschreibende Variablen aufgenommen.

Die unabhängigen Variablen wurden mittels der Option STEPWISE⁵⁴ schrittweise in die Modelle aufgenommen. Diese Option nimmt der Reihe nach Variablen auf, sobald deren p-Wert eine bestimmte Schwelle unterschreitet. Bei der Aufnahme weiterer Variablen kann sich aber der p-Wert der bereits aufgenommenen Variablen wieder verringern. Wird hierbei eine bestimmte Schwelle überschritten, dann entfernt das System die Variable wieder aus dem Modell.⁵⁵ Abschließend wurden alle Variablen im Modell darauf überprüft, ob deren Kombination biologisch sinnvoll ist und ob deren Parameter plausible Vorzeichen aufweisen.

Die folgenden für eine aussagekräftige Regressionsanalyse notwendigen Voraussetzungen (QUINN und KEOUGH 2002, KRÄMER et al. 2005, GARSON 2007a, KLEINBAUM et al. 2007) wurden überprüft.

- Korrekter Aufbau des Modells: d. h. es muss alle relevanten unabhängigen Variablen enthalten und nicht durch irrelevante Variablen belastet sein
- Abwesenheit von perfekter oder von hoher partieller Multikollinearität
- Linearität
- Homoskedastizität
- Normalverteilung der Residuen
- Statistische Unabhängigkeit der y-Werte
- Existenz eines y-Wertes für jeden x-Wert

Innerhalb der SAS-Prozedur Proc REG wurden folgende Tests durchgeführt:

- Überprüfen von Multikollinearität mit der Option COLLIN. Der errechnete Konditionskoeffizient CI sollte nicht größer als 30 sein (KRÄMER et al. 2005).
- Prüfung auf Heteroskedastizität mittels des White-Tests (Option SPEC). Erweist sich der White Test als nicht signifikant, so kann von Homoskedastizität ausgegangen werden (KRÄMER et al. 2005).

Um eine unzulässig hohe Korrelation unter den erklärenden Variablen auszuschließen, wurde außerdem für jede dieser Variablen eine eigene multiple Regression durchgeführt, in der versucht wurde, sie durch die anderen im Modell verwendeten unabhängigen Variablen zu erklären (BACKHAUS et al. 2003). Einer Empfehlung von GARSON (2007a) folgend, durfte der sich ergebende Toleranzwert $1-R^2$ den Wert 0,2 nicht unterschreiten.⁵⁶

⁵⁴ Im Programm „Proc Reg“ aus SAS 9.1.

⁵⁵ Einige Autoren betrachten diese Option in Statistik-Programmen kritisch (LUDWIG-MAYERHOFER 1999, GARSON 2007a, EL KATEB, mündliche Mitteilung). Darauf wird in der Diskussion näher eingegangen.

⁵⁶ KLEINBAUM et al. (2007, S.310) sowie QUINN und KEOUGH (2002, S.128) gehen bis 0,1.

Weiterhin wurden Abweichungen von Homoskedastizität, Linearität und Normalverteilung mittels visueller Residualanalyse überprüft (EL KATEB 1991, DRAPER und SMITH 1998, KLEINBAUM et al 2007). Dabei wurden die studentisierten⁵⁷ Residuen gegen die Vorhersagewerte aufgetragen. Ergab sich ein homogenes Streuband und kein systematischer Trend, so wurde davon ausgegangen, dass die Fehlerkomponente homogen und unabhängig vom vorhergesagten Wert ist. Lagen etwa 95 % der Werte zwischen etwa -2 und +2 (-1,96 und +1,96), so deutete dies auf annähernde Normalverteilung hin (EL KATEB 1991). Zusätzlich abgesichert wurde die Normalverteilungsannahme letztlich mittels Normalquantil-Plots, bei welchen die standardisierten Residuen gegen die Quantile der Normalverteilung abgetragen werden (KRÄMER et al. 2005). Nachdem in den Daten keine größeren Abweichungen von den Modellannahmen zu beobachten waren, konnte bei den Regressionsanalysen auf Transformationen verzichtet werden.

Die Residualplots wurden außerdem zur Identifikation von Ausreißern genutzt.

Bei der Beurteilung der Güte der Regressionsfunktionen wurde neben Bestimmtheitsmaß und mittlerer einfacher Abweichung vor allem die Verteilung der Residuen als Qualitätskriterium herangezogen. Letztlich wurde aber auch nach dem von HRADETZKY (1978) formulierten Grundsatz verfahren: „Der sicherste Weg zur Beurteilung der Anpassungsgüte einer Funktion ist nach wie vor die Gegenüberstellung der Funktionswerte und der Beobachtungswerte.“

Die Regressionsgleichungen wurden in allen Fällen auch an einem unabhängigen Datensatz getestet (vgl. GARSON 2007a: „Cross-validation“).

4.2.3.1.1 Die abhängigen Variablen

Folgende beiden Variablen wurden über Regressionsanalysen geschätzt:

Kronenansatzhöhe: gemessen bis zum ersten grünen Primärast

Durchschnittlicher jährlicher Zuwachs: Bei der Festlegung des Beobachtungszeitraumes für diese Variable ergab sich folgendes Problem: die Eingriffe hatten nicht zum gleichen Zeitpunkt stattgefunden. Hätte man einen bestimmten Zeitraum, beispielsweise 5 Jahre ab dem Eingriff, als Beobachtungszeitraum gewählt, so hätten diesen Zeiträumen unterschiedliche

⁵⁷ Die Terminologie hinsichtlich verschiedener Maßzahlen für Residuen ist nicht einheitlich. KLEINBAUM et al. (2007) unterscheiden beispielsweise standardisierte, studentisierte und „jackknife“-Residuen. Laut LUDWIG-MAYERHOFER (1999) muss bei der Anwendung von Statistikprogrammen deshalb grundsätzlich geprüft werden, welche Maßzahl dort verwendet wird. Im Falle der verwendeten SAS-Software bedeutet studentisiert, dass die Residuen durch den Standardfehler dividiert werden.

klimatische Bedingungen zugrunde gelegen. In einigen Fällen wäre beispielsweise das Trockenjahr 2003 mit den sehr geringen Zuwächsen in die Berechnung eingegangen, in anderen Fällen nicht. Es wurde deshalb generell der Zeitraum von 9 Jahren vor der Zuwachsbohrung gewählt, welcher die größten Übereinstimmungen im „Behandlungszeitraum“ zwischen allen behandelten Parzellen aufwies.

4.2.3.1.2 Die unabhängigen Variablen

Einzelbaumbezogene metrische Variablen

Die metrischen Variablen wurden wie vorstehend beschrieben erhoben und direkt verwendet.

Alter [Jahre]

BHD [cm]

Höhe [m]

Kronenansatzhöhe [m] (nur für die Regression zur Schätzung des Durchmesserzuwachses)

Konkurrenzindizes: Die in Tab. 4.8 aufgelisteten Konkurrenzindizes in den jeweils zwei Ausprägungen „Fester Suchkreis“ und „Suchkegel“.

Einzelbaumbezogene kategorische Variablen:

Um die nicht metrischen Variablen für die Regressionsanalyse nutzbar zu machen, wurden sie orthogonal kontrastkodiert (EL KATEB 1991, BORTZ 1993, AMMER 1996a, KNOKE 2003). Die Kontrastkodierung hat den Vorteil, dass sich die Größe des Unterschiedes zwischen den kontrastierten Gruppen relativ leicht rekonstruieren lässt (BORTZ 1993). Dabei werden für ein k-fach gestuftes Merkmal k-1 Indikatorvariablen benötigt. Die Spaltensummen der Gewichte müssen in jedem Fall 0 ergeben, wie in den folgenden Tabellen zu sehen.

Soziale Klasse

Tab. 4.10 zeigt die Kodierung für die Kraftschen Klassen. Die Klasse 5 wurde nicht kodiert, da im Kollektiv der Messbäume nur Fichten der ersten vier Klassen aufgenommen worden waren. Die Indikatorvariablen wirken folgendermaßen: Die erste Indikatorvariable trennt die beiden Gruppen Kraft 1 und 2 von den beiden Gruppen Kraft 3 und 4. Würde die Variable k_1 beispielsweise in der Regression zur Erklärung des Durchmesserzuwachses mit einem positiven Parameter b_1 aufgenommen, so zeigte sich darin ein größerer Zuwachs bei den Gruppen Kraft 1 und 2. Der Achsenabschnitt b_0 würde bei den Gruppen Kraft 1 und 2 um ein mal b_1 vergrößert, während er für die Gruppen Kraft 3 und 4 um ein mal b_1 verkleinert würde.

Die Indikatorvariablen k2 und k3 trennen die Gruppen 1 und 2 beziehungsweise 3 und 4 jeweils untereinander auf.

Tab. 4.10: Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses von Kraftscher Klasse auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe.

Kraft'sche Klasse /Indikatorvariable	k1	k2	k3
Kraft 1	1	1	0
Kraft 2	1	-1	0
Kraft 3	-1	0	1
Kraft 4	-1	0	-1

Analog zum beschriebenen Vorgehen wurden die Variablen Stellung, Kronenklasse und Vitalität kodiert.

Soziale Stellung – vereinfacht

Neben den Kraftschen Klassen wurde noch das in Tab. 4.11 dargestellte vereinfachte System zur Charakterisierung der sozialen Stellung verwendet. Die beiden Klassifizierungen führen zu ähnlichen Einstufungen der Fichten, wobei beim vereinfachten System die aktuelle Bestandsituation etwas stärker fokussiert wird: so kann beispielsweise eine Fichte, die in einer behandelten Parzelle vor kurzem freigestellt wurde in der Stellung 1 einsortiert werden, während sie vor dem Eingriff noch mit Stellung 2 klassifiziert worden wäre.

Tab. 4.11 Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses der sozialen Stellung auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe. Es bedeuten:

Stellung 1. Frei: Krone bis maximal 20% von Nachbarn bedrängt

Stellung 2. Mittel: Krone 21-50% von Nachbarn bedrängt

Stellung 3. Unterdrückt: Krone über 50% von Nachbarn bedrängt

Stellung /Indikatorvariable	s1	s2
Stellung 1	2	0
Stellung 2	-1	1
Stellung 3	-1	-1

Vitalität

Bei der Kodierung der Vitalität (Tab. 4.12) wurden die Stufen 2 und 3 zusammengefasst. In diesen Stufen waren relativ wenige Bäume vertreten, weshalb die Indikatorvariablen bei getrennter Auswertung nur geringe Aussagekraft gehabt hätten.

Tab. 4.12: Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses der Vitalität auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe. Die Vitalitätsstufen (0= beste Vitalität) in Anlehnung an die Waldzustandserhebung (KENNEL 1983, BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2001a), vgl. Kap. 4.2.2.2.

Vitalität /Indikatorvariable	v1	v2
Vitalität 0	2	0
Vitalität 1	-1	1
Vitalität 2/3	-1	-1

Schäden

Zur Kodierung von Schäden genügte jeweils eine einzelne Indikatorvariable (Schaden vorhanden – Schaden nicht vorhanden) wie in Tab. 4.13 exemplarisch für Schneebruchschäden dargestellt.

Tab. 4.13: Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses von Schneebruch auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe

Schneebruch / Indikatorvariable	Bruch
Gebrochen	-1
Nicht gebrochen	1

Flächenbezogene Variablen:

Tab. 4.14 führt die flächenbezogenen Größen auf, welche als unabhängige Variablen bei der Auswahl der besten Regressionsmodelle zur Anwendung kamen.

Wechselwirkungen:

Zusätzlich können bei der bei der Erstellung von Regressionsmodellen immer auch Wechselwirkungen (auch bezeichnet als Interaktionen) zwischen den unabhängigen Basisvariablen eine Rolle spielen. Diese werden in Form von Produkten der Basisvariablen in die Modelle aufgenommen. Dies können prinzipiell Produkte zwischen zwei oder auch drei (und mehreren) Faktoren sein.⁵⁸ Die Einführung von Interaktionen bringt allerdings insofern Schwierigkeiten mit sich, als die Interaktionsvariablen naturgemäß mit den Basisvariablen korreliert sind, aus denen sie zusammengesetzt sind. Werden die Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen zu hoch, so erhöht sich die Varianz der geschätzten Parameter und die Schätzung wird unzuverlässiger (KNOKE 2003). Deshalb wurden hier nur in sachlich begründeten Fällen Wechselwirkungen der Basisvariablen verwendet. So beispielsweise der Quo-

⁵⁸ Bei KLEINBAUM et al. (2007, S. 191 ff.) werden Interaktionen zwischen zwei Variablen als „first order interactions“ bezeichnet, Interaktionen zwischen drei Variablen als „second order interactions“.

tient aus Höhe und BHD (h/d-Wert) oder der Quotient aus BHD und Alter (durchschnittlicher Durchmesserzuwachs), der wie bei KNOKE (2003) beschrieben, als Maß für die durchschnittliche Vitalität des Baumes interpretiert werden kann.

Tab. 4.14: Flächenbezogene unabhängige Variablen

Standortbeschreibende Variablen	
HAN	Hangneigung in Grad, mit Hilfe eines Theodoliten gemessen. Als Kennzahl wurde der Mittelwert der Hangneigung der in Hangrichtung verlaufenden Außenkannten verwendet.
HoNN	Meereshöhe in m
Expos	Die Exposition wurde in Altgrad gemessen. Diese Werte sind jedoch nicht metrisch (0° liegt neben 359°). Die Umwandlung in eine metrische Variable wurde im Anhalt an WYKOFF et al (1982) ⁵⁹ mit folgender Formel vorgenommen: $Expos = \cos(Exposition \text{ in } ^\circ / 4)$
BonQ	Beschreibung der Bonität in Form des Quotienten $\frac{h_o}{Alter}$, wobei h_o die Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 Stärksten Bäume beschreibt
BonA	Bonität nach ASSMANN und FRANZ (1963), interpoliert
Maße zur Beschreibung der Dichte	
N/ha	Stammzahl je Hektar
N/haR	Stammzahl je Hektar, auf die Horizontalfläche projiziert
G/ha	Grundfläche je Hektar
G/haR	Grundfläche je Hektar, auf die Horizontalfläche projiziert
SDI	Stand density Index nach REINEKE (1933); der SDI berechnet sich nach der Formel $SDI = N \cdot \left(\frac{25}{dg}\right)^{-1,605}$, wobei N die beobachtete Stammzahl ist und dg der gemessene Durchmesser des Grundflächenmittelstammes. Der Index gibt an, wie viele Stämme der Bestand nach der Bestandesdichteregeln hätte, wenn er einen dg von 25 aufweisen würde. ⁶⁰
SDI_R	Stand density Index, auf die Horizontalfläche projiziert
(N/ha) ² /G/ha	Dieser Wert wird bei EL KATEB (1991) als guter Wert zur Charakterisierung der Bestandesdichte beschrieben ⁶¹ , da er berücksichtigt, ob sich die Dichte aus wenigen starken Bäumen oder vielen schwächeren Bäumen zusammensetzt.
Maße zur Beschreibung der Eingriffsstärke	
Entn_G	Grundfläche der entnommenen Bäume [m ² /ha]
Entn_V	Volumen der entnommenen Bäume [Efm/ha]
CBeh	Kontrastkodierung zur Unterscheidung von behandelten (CBeh = 1) und unbehandelten (CBeh = -1) Parzellen.

⁵⁹ vgl. auch AMMER (1996a).

⁶⁰ nachzulesen bei REINEKE (1933) bzw. bei PRETZSCH (2002, S.244).

⁶¹ dort als BD-Index (für Bestandesdichte) bezeichnet.

4.2.3.2 Varianzanalytische Auswertungen auf Parzellenebene

Die Auswahl der Versuchspartellen wurde in Kapitel 4.2.1 beschrieben. An jedem Standort (Block) wurden innerhalb der drei Altersstufen (I, II und III) jeweils eine behandelte und eine unbehandelte Fläche ausgewählt. Der Faktor Behandlung ist im Faktor Altersstufe eingebettet (vgl. Abb. 4.9). So ist die Einrißstärke in den Jugendstadien nicht so hoch wie in den Wachstums- und Reifestadien. In die Reifestadien wurde während des Bestandeslebens bereits zwei Mal eingegriffen. Ein solches Modell ist als hierarchisches „Nested“ Design zu bezeichnen (SCHUEMER et al. 1990, BORTZ, 1993, Quinn und Keough 2002).⁶²

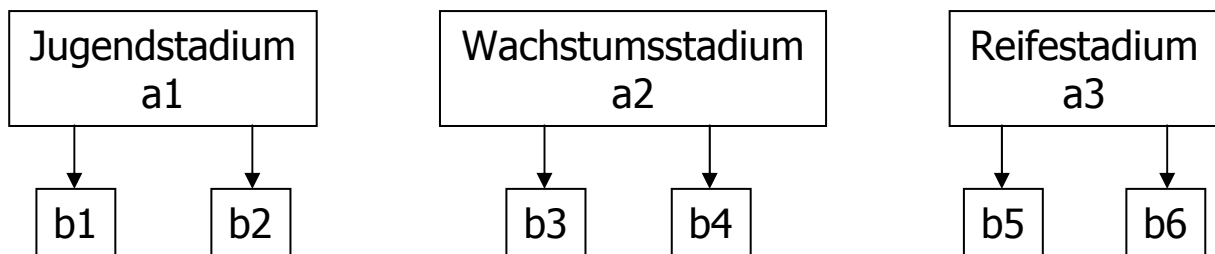


Abb. 4.9: Das hierarchische Design: Der Faktor Behandlung ist im Faktor Alter eingebettet. Diese Anordnung ist an den drei Standorten Ruhpolding, Oberammergau und Tölz wiederholt. (a=Altersstufe, b=Behandlung)

Das Versuchsmodell lautet nach EL KATEB (2006): „*Randomised Block Hierarchical Design*“. In diesem Modell stellt der Faktor Behandlung keinen festen, sondern einen zufälligen Effekt dar, weil keine einheitliche Behandlungsart für die zufällig ausgewählten Bestände vorliegt. Eine Wiederholung des Versuchs würde nicht dieselben Behandlungsarten für die ausgewählten Bestände beinhalten. Tab. 4.15 zeigt die getesteten Nullhypothesen, Tab. 4.16 die Ermittlung der F-Statistik. Hierbei errechnen sich die Freiheitsgrade aus der Anzahl der Faktorstufen minus 1. Drei Blöcke ergeben beispielsweise 2 Freiheitsgrade. Der Freiheitsgrad für den Restfehler errechnet sich aus dem Stichprobenumfang minus der Summe aller Faktorstufen (18 Parzellen minus 8 Faktorstufen). Die mittlere quadratische Abweichung ergibt sich jeweils aus Streuung dividiert durch Freiheitsgrade. Die Spalte „F-Statistik“ gibt an, aus welchem Quotienten sich die Prüfgröße für die F-Statistik errechnet. Für die drei Blöcke wird beispielsweise die Varianz zwischen den Blöcken (Mittlere quadratische Abweichung „MQ_Block“) durch die restliche, nicht erklärte mittlere quadratische Abweichung

⁶² Deshalb sind die Behandlungen in Abb. 4.9 nicht in allen Stadien als b1 und b2 bezeichnet, sondern unterschiedlich.

(MQ_Fehler) dividiert. Dabei wird die Nullhypothese verworfen, wenn die Variabilität zwischen den Standorten wesentlich größer ist als die Restvariabilität, also die Prüfgröße den entsprechenden F-Wert überschreitet (FAHRMEIR et al. 2004).

Tab. 4.15: Getestete Hypothesen

Block	$H_0: \mu_R = \mu_O = \mu_T$
Kontraste	$H_0: (\mu_R + \mu_O)/2 = \mu_T$ $H_0: \mu_R = \mu_O$
Altersstufe (ALT)	$H_0: \mu_I = \mu_{II} = \mu_{III}$
Kontraste	$H_0: (\mu_I + \mu_{II})/2 = \mu_{III}$ $H_0: \mu_I = \mu_{II}$
BEH(ALT)	$H_0: \sigma^2_{BEH_0,ALT_I} + \sigma^2_{BEH_0,ALT_{II}} + \sigma^2_{BEH_0,ALT_{III}} = \sigma^2_{BEH_1,ALT_I} + \sigma^2_{BEH_1,ALT_{II}} + \sigma^2_{BEH_1,ALT_{III}}$
Kontraste	$H_0: \sigma^2_{BEH_0,ALT_I} = \sigma^2_{BEH_1,ALT_I}$ $H_0: \sigma^2_{BEH_0,ALT_{II}} = \sigma^2_{BEH_1,ALT_{II}}$ $H_0: \sigma^2_{BEH_0,ALT_{III}} = \sigma^2_{BEH_1,ALT_{III}}$

BEH(ALT) = Behandlung innerhalb der jeweiligen Altersstufe

BEH₀ = unbehandelt, BEH₁ = behandelt

μ = Populationsmittelwert

σ^2 = Populationsvarianz

R = Ruhpolding

O = Oberammergau

T = Tölz

Tab. 4.16: Ermittlung der F-Statistik für die Versuchsfaktoren

Streuung	Freiheitsgrade	F-Statistik
Block (BL)	2	MQ_BL/MQ_Fehler
Block-Kontrast_1: R+O vs T	1	$MQ_BL_Kontrast_1/MQ_Fehler$
Block-Kontrast_2: R vs O	1	$MQ_BL_Kontrast_2/MQ_Fehler$
Altersstufe (ALT)	2	$MQ_ALT/MQ_BEH(ALT)$
ALT-Kontrast_1: I+II vs III	1	$MQ_ALT_Kontrast_1/MQ_BEH(ALT)$
ALT-Kontrast_2: I vs II	1	$MQ_ALT_Kontrast_2/MQ_BEH(ALT)$
BEH (ALT)	3	$MQ_BEH(ALT)/MQ_Fehler$
BEH (ALT I)	1	$MQ_BEH(ALT_I)/MQ_Fehler$
BEH (ALT II)	1	$MQ_BEH(ALT_II)/MQ_Fehler$
BEH (ALT III)	1	$MQ_BEH(ALT_III)/MQ_Fehler$
Fehler	10	

MQ = Mittlere quadratische Abweichung

BL = Block (Standort)

R	=	Ruhpolding
O	=	Oberammergau
T	=	Tölz
ALT	=	Altersstufe
I	=	Jugendstadium
II	=	Wachstumsstadium
III	=	Reifestadium
BEH	=	Behandlung
BEH(ALT)	=	Behandlung innerhalb Altersstufe

Die für die Testung nötigen Modellannahmen wurden wie bei den Regressionsanalysen mittels visueller Residualanalyse geprüft. Dabei wurden die studentisierten Residuen gegen die Vorhersagewerte der abhängigen und der unabhängigen Variablen aufgetragen. Neben den Erkenntnissen zu Homoskedastizität und Normalverteilung gab die Residualanalyse Aufschluß über die Notwendigkeit und Art von linearisierenden Transformationen der abhängigen Variablen (EL KATEB 1991, DRAPER und SMITH 1998, QUINN und KEOUGH 2002, KLEINBAUM et al. 2007). Hinweise hinsichtlich der Normalverteilungsannahme gab zusätzlich der Shapiro-Wilk-Test (EL KATEB 1991, GARSON 2007b). Als Signifikanzschwelle für diesen Test wurde 0,1 angenommen. Auch hier wurde die Normalverteilungsannahme aber letztlich mittels Normalquantil-Plots abgesichert.

Sofern sich Abweichungen von der Normalverteilung bzw. Heteroskedastizität ergaben, wurden entsprechende Transformationen für die Variablen gesucht, um Verletzungen der Modellvoraussetzungen zu vermeiden.⁶³ Folgende Transformationen wurden bei den verschiedenen Variablen durchgeführt:

- Logarithmische Transformation: $Y' = LN(Y)$
- Reziproke Transformation: $Y' = 1/Y$
- Wurzeltransformation: $Y' = \sqrt{Y}$, bei sehr kleinen Y-Werten: $Y' = \sqrt{(Y + 0,5)}$
(EL KATEB 2006)

⁶³ QUINN und KEOUGH (2002) beschreiben eine augenzwinkernde Legitimation für die Transformation von Variablen. Demnach ist es oft willkürlich, welche Skala wir für Messungen verwenden. Die meisten Messungen basieren auf dem Dezimalsystem. Möglicherweise auch darin begründet, dass wir 10 Finger an den Händen haben. Die „Simpsons“ würden vielleicht alles in Einheiten messen, die auf der Zahl 8 basieren. Als ähnlich willkürlich kann man die lineare Skala bei Messungen ansehen. Grundsätzlich könnte man auch ein Maßband mit logarithmischer Skala verwenden. Dies ändert aber nichts an der Tatsache, dass die jeweilige Transformation auch auf ihre theoretische Sinnhaftigkeit geprüft werden muss (GARSON 2007b).

Die verwendeten Transformationen sind bei den entsprechenden Ergebnistabellen vermerkt.

Grundlage für die Varianzanalysen bildete das Programm „WB-HK Silviculture“ von EL KATEB (2006), welches in SAS ausgeführt wird. Außerdem wurde auf Beispiele und Hinweise von KRÄMER et al. (2005) und SCHUEMER et al. (1990) zurückgegriffen.

4.2.3.3 Multivariate Varianzanalysen

Unter Verwendung des schon beschriebenen Designs wurden auch multivariate Varianzanalysen durchgeführt. Hierbei wurden folgende Bereiche unter Verwendung mehrerer Variablen auf Unterschiede zwischen behandelten und nicht behandelten Parzellen getestet:

- Resistenz
 - Einzelbaumbezogene Kriterien
 - Strukturkriterien
- Elastizität
- Stabilität insgesamt

Zur Beurteilung der Irrtumswahrscheinlichkeit in multivariaten Varianzanalysen stehen in SAS vier verschiedene Tests zur Verfügung: Wilks Lambda, Pillais Spur, Hotelling-Lawley-Spur und Roys größte Wurzel. Nachdem Pillais Spur häufig als besonders robust beschrieben wird, (OLSON 1976, GARSON 2007d) wurde dieser Wert verwendet.

4.2.4 Einsatz der „Info-Gap Decision Theory“ und der „Sharpe-Ratio“ zur Beurteilung der Verjüngungssituation

Die „Information-Gap Decision Theory“ wurde u.a. von BEN-HAIM (2006) entwickelt, um Entscheidungen trotz großer Unsicherheit treffen zu können. Die Ausprägung verschiedenster Variablen, wie beispielsweise das bei BEN-HAIM (2005) betrachtete „Value-at-risk“ in Finanzmärkten, wird für gewöhnlich mittels Wahrscheinlichkeitsfunktionen anhand ihrer bisherigen, historischen Ausprägungen geschätzt. Dabei unterliegt diese Schätzung zweierlei Arten von Unsicherheit. Zum einen der Schätzunsicherheit an sich, welche mit statistischen Methoden möglichst minimiert wird. Zum anderen handelt es sich um die Unsicherheit aufgrund unvorhersehbarer Änderungen bestimmter Bedingungen in der Zukunft, welche nicht auf die bisherigen Entwicklungen zurückgeführt werden können. BEN-HAIM (2005) nennt diese „Knight'sche Unsicherheit“ in Anlehnung an Frank KNIGHT (1921), der es als „echte Unsicherheit“ bezeichnete, wenn sich für eine Unsicherheit kein objektives Wahrscheinlichkeitsmaß finden lässt. Durch die Verwendung von Info-Gap-Modellen wird diese Unsicherheit in die

Entscheidung mit einbezogen, indem die sogenannte „Robustheit“ berechnet wird. Sie stellt ein Maß dafür dar, wie sehr eine Schätzfunktion mit Fehlern behaftet sein darf, ohne dass ein festgelegter Grenzwert unterschritten wird. Es handelt sich also um eine Einheit, die aussagt, wie *robust* die Schätzung gegenüber großer Unsicherheit ist.

Info-Gap-Modelle können in verschiedensten Bereichen eingesetzt werden, um solche Knight'schen Unsicherheiten in Entscheidungen einzubeziehen, wie die folgende Aufzählung zeigt (BEN-HAIM 2006):

- im Bereich der Statik, wo künftige außergewöhnliche Belastungen einer Unsicherheit unterliegen,
- in der Medizin, wo es Unsicherheiten hinsichtlich des gewünschten Effektes und den Nebenwirkungen eines Medikamentes gibt,
- beim Investment in Portfolios mit unsicherer Entwicklung,
- bei der Planung eines größeren Projektes mit unsicherer Dauer der einzelnen Abschnitte,
- in Räuber-Beute-Beziehungen mit unvollständiger Information über die Verhaltensweisen der Beute.

In letzter Zeit werden Info-Gap-Modelle auch im ökologischen Bereich eingesetzt (REGAN et al. 2005⁶⁴, MOILANEN et al. 2006⁶⁵, HALPERN et al. 2006), oder auch im forstlichen Bereich durch KNOKE (2008). Letzterer setzte die Info-Gap Theorie ein, um Mischungen zwischen Fichte und Buche hinsichtlich der Robustheit ihrer finanziellen Erträge zu beurteilen.

Auch das Auflaufen von Verjüngung in den montanen reinen Fichtenbeständen ist mit Unsicherheit behaftet. Bestimmte Gegebenheiten lassen sich sicher aus der vergangenen Entwicklung im Gebirge im Allgemeinen und auf den Untersuchungspartellen im Besonderen ablesen. Es sind aber auch viele Faktoren denkbar, welche die Verjüngung beeinflussen und nicht abgeschätzt werden können. Dies können positive Veränderungen sein, wie beispielsweise die Versetzung eines jagdlich engagierten Revierleiters in die Gegend oder die Einbürgerung einiger Wölfe oder Bären. Es können aber auch negative Entwicklungen sein, wie die Vernachlässigung der Jagd aufgrund organisatorischer Änderungen oder die Verschlechte-

⁶⁴ Die Autoren setzen die Info-Gap-Methode ein, um die Maßnahme ausfindig zu machen, welche am sichersten das Aussterben einer seltenen Rhinozeros-Art verhindert.

⁶⁵ Zur Planung von Schutzgebieten vor dem Hintergrund verschiedener Arten mit unterschiedlich gut bekannten Habitatansprüchen

zung der Wuchsbedingungen durch den Klimawandel. Mit der Berechnung der Robustheit anhand der erhobenen Daten wird nicht nur abgeschätzt, ob die Verjüngungssollzahlen erreicht werden, sondern es wird auch berechnet, wie robust diese Einschätzung gegenüber künftigen Veränderungen ist.

In der vorliegenden Untersuchung wird ein Ansatz verwendet, den BEN-HAIM (2005, 2006) für die Beurteilung verschiedener Portfolios beschrieben hat und den auch KNOKE (2008) verwendete. Demnach wird eine zufällige Anzahl an aufgelaufener Verjüngung v in einem Fichtenbestand f angenommen, die einer nicht bekannten Dichtefunktion $p_f(v)$ unterliegt. Diese Dichtefunktion wird anhand von Mittelwert und Varianz der Pflanzendichte auf den erhobenen Flächen als $\tilde{p}_f(v)$ geschätzt, wobei die Schätzung aber mit Unsicherheit behaftet ist. Das Info-Gap-Modell stellt nun gemäß BEN-HAIM (2006) eine Menge aller möglichen Dichtefunktionen dar,⁶⁶ welche mit der geschätzten Dichtefunktion vereinbar sind und die Unsicherheit als Parameter h_f enthalten. h_f wird auch als Unsicherheitshorizont bezeichnet.

$$U(h_f, \tilde{p}_f) = \left\{ p_f(v) : |p_f(v) - \tilde{p}_f(v)| \leq h_f \right\}, h_f \geq 0 \quad (4.11)$$

$U(h_f, \tilde{p}_f)$	Menge aller möglichen Dichtefunktionen, welche mit der geschätzten Dichtefunktion vereinbar sind
$p_f(v)$	Unbekannte Dichtefunktion des Verjüngungserfolges im Fichtenbestand f
$\tilde{p}_f(v)$	Geschätzte Dichtefunktion
h_f	Unsicherheitshorizont

Die Robustheit $\hat{h}(v^*, c)$ stellt in diesem Zusammenhang den maximalen Unsicherheitshorizont dar, bei dem zu einem gegebenen Konfidenzintervall $1 - c$ der gewünschte Verjüngungssollwert v^* gerade noch nicht unterschritten wird. c ist dabei die tolerierte Fehlerwahrscheinlichkeit. Nimmt man gemäß der Vorgehensweise bei BEN-HAIM (2005) an, dass die Verjüngungsdichten normal verteilt sind, mit einem Mittelwert μ und einer Varianz σ^2 , dann ergibt sich folgende Funktion zur Kalkulation der Robustheit.⁶⁷ Φ ist dabei die der geschätzten Standardnormalverteilung zugehörige Verteilungsfunktion.

⁶⁶ Bei BEN-HAIM (2006) bezeichnet als „a family of nested sets of probability functions“

⁶⁷ Zur detaillierten Herleitung der Funktion siehe BEN-HAIM (2005) und KNOKE (2008).

$$\hat{h}(v^*, c) = \frac{c}{\Phi\left(\frac{v^* - \mu}{\sigma}\right)} - 1 \quad \text{wenn } \Phi\left(\frac{v^* - \mu}{\sigma}\right) \leq c \quad (4.12)$$

$$\hat{h}(v^*, c) = 0 \quad \text{wenn } \Phi\left(\frac{v^* - \mu}{\sigma}\right) > c$$

- $\hat{h}(v^*, c)$ Robustheit
 v^* Verjüngungssollwert
 c akzeptierte Fehlerwahrscheinlichkeit, beispielsweise 0,05
 $\Phi\left(\frac{v^* - \mu}{\sigma}\right)$ Kumulative Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung

Die Robustheit nimmt also einen positiven Wert an, wenn die kumulierte Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung kleiner als die tolerierte Fehlerwahrscheinlichkeit ist. Das bedeutet, dass es noch andere, von der geschätzten Verteilungsfunktion abweichende Funktionen gibt, welche auch die Verjüngungssollzahl einhalten. Ist die Verteilungsfunktion für den Verjüngungssollwert schon größer als die tolerierte Fehlerwahrscheinlichkeit, dann ist die Robustheit 0.

Abb. 4.10 verdeutlicht die Eigenschaft der Robustheit bildlich anhand zweier kumulativer Verteilungsfunktionen. Es soll hier eine Mindestpflanzenzahl von 1000 Pflanzen/ha nicht unterschritten werden. Die geduldete Fehlerwahrscheinlichkeit ist 0,1.

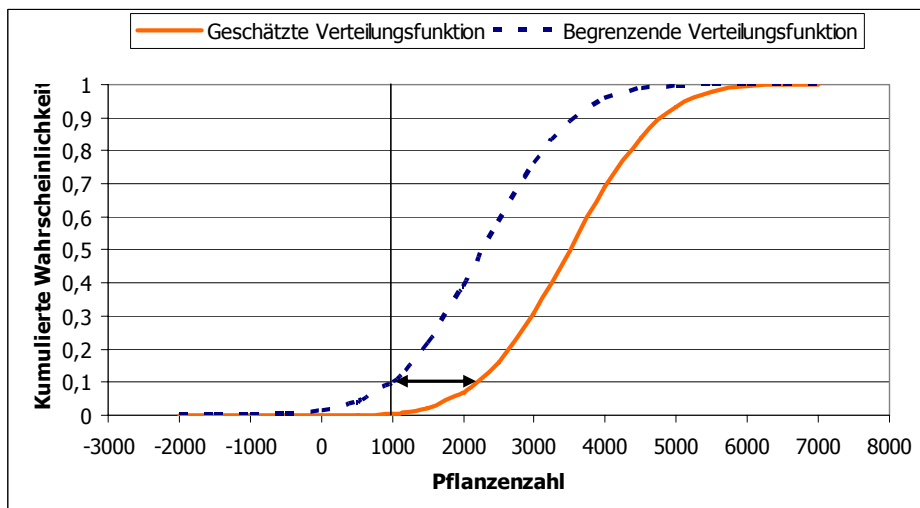


Abb. 4.10: Beispielhafte Darstellung einer geschätzten Verteilungsfunktion und der äußersten Verteilungsfunktion, welche die Ansprüche gerade noch erfüllen würde.

Die begrenzende Verteilungsfunktion ist die äußerste Funktion, welche gerade noch die Vorgaben erfüllt. Sie weist eine Robustheit von 0 auf. Während bei der begrenzenden Vertei-

lungsfunktion eine Wahrscheinlichkeit von genau 0,1 besteht, dass Verjüngungszahlen unter 1000 Pflanzen/ha erzielt werden (Die Kurve schneidet bei 0,1 die 1000er-Linie), ist die Wahrscheinlichkeit bei der geschätzten Verteilungsfunktion so gering, dass sie mit bloßem Auge nicht ablesbar ist. Die geschätzte Verteilungsfunktion weist laut Berechnung eine Robustheit von 15 auf. Die Robustheit sagt also aus, wie weit die tatsächliche Verteilungsfunktion von der geschätzten Verteilungsfunktion abweichen kann, wobei immer noch die gewünschte Pflanzenzahl mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,1 erreicht wird. Anders ausgedrückt sagt eine Robustheit von 15 aus, dass die aktuelle Prognose für die Verjüngungsverteilung bezüglich der Irrtumswahrscheinlichkeit um 1500% falsch liegen kann und die gewünschte Pflanzenzahl immer noch mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreicht würde.

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der Effekte von waldbaulichen Eingriffen auf die Verjüngung bietet sich mit der Verwendung der „Sharpe-Ratio“. Diese Kennzahl stammt ursprünglich aus dem Finanzbereich und wurde von William F. SHARPE (1964, 1966, 1994) entwickelt. Sie dient der Beurteilung von verschiedenen Geldanlagen anhand ihrer Rendite und ihres Risikos. In einem ersten Schritt wird dabei geprüft, wie hoch die Rendite einer risikobehafteten Geldanlage \tilde{G}_r gegenüber einer sicheren Geldanlage ohne jegliches Risiko \tilde{G}_s ist.

$$\tilde{d} = \tilde{G}_r - \tilde{G}_s \quad (4.13)$$

\tilde{d}	Überrendite
\tilde{G}_r	Rendite der risikobehafteten Geldanlage
\tilde{G}_s	Rendite der sicheren Geldanlage

Dieser potenzielle Überschuss der risikobehafteten Anlage wird an der Größe des Risikos, welches in Kauf genommen werden muss, ausgedrückt durch die Standardabweichung σ_d , gemessen. Die Sharpe-Ratio sagt also aus, wie hoch die Überrendite pro Einheit übernommenen Risikos ausfällt.

$$s = \frac{\bar{d}}{\sigma_d} \quad (4.14)$$

s	Sharpe-Ratio
\bar{d}	erwartete Überrendite
σ_d	Standardabweichung

Die Formel kann insofern auf die Verjüngungssituation übertragen werden, als die sichere Geldanlage mit dem Verjüngungssollwert v^* gleichgesetzt wird. An Stelle der zu beurteilenden Geldanlage tritt die zu beurteilende Maßnahme, also der Mittelwert μ aus den Parzellen einer Behandlungsvariante. Mit Bildung der Differenz aus Mittelwert und dem Verjüngungssollwert, wird zunächst geprüft, ob die Maßnahme im Mittel den geforderten Erfolg bringt. Anschließend wird auch hier der Erfolg am übernommenen Risiko in Form der Standardabweichung gemessen.

$$s(v^*) = \frac{\mu - v^*}{\sigma} \quad (4.15)$$

$s(v^*)$	Sharpe-Ratio
μ	Mittelwert
v^*	Verjüngungssollwert
σ	Standardabweichung

4.3 Ergebnisse

Der Ergebnisteil ist folgendermaßen aufgebaut: in Tab. 4.17, Tab. 4.18 und Tab. 4.19 sind wichtige Informationen zu den Untersuchungsparzellen aufgelistet. Im Anhang finden sich außerdem Stammfußkarten, die einen Eindruck der horizontalen Verteilung vermitteln.

Kapitel 4.3.1 fasst die Ergebnisse der Altbestandsuntersuchungen zusammen, also die Resultate zur Resistenz. Im Abschnitt 4.3.2 finden sich die Ergebnisse zur Verjüngung (Elastizität), sowohl die der Varianzanalysen, als auch die Resultate der Berechnungen von „Sharpe Ratio“ und Robustheit. In Kapitel 4.3.3 sind schließlich Altbestand und Verjüngung in multivariater Varianzanalyse gemeinsam betrachtet.

Tab. 4.17: Parzellenbeschreibung Teil 1.

PARZELLE	Ort	Altersstufe	Behandlung	RECHTSWERT		Höhe (GPS)	Hangneigung [°]	Exposition [Altgrad]	Mittlere Jahrestemperatur [°C]	Mittlere Temperatur während der Vegetationsperiode [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Niederschläge von Mai-Oktober [mm]	Länge der Vegetationsperiode [Tage]	Geologie	Standort nach System EWALD (1999)	Pflanzensoziologische Einheit (EWALD & BINNER 2007)	
				RECHTSWERT	Abteilung												
111	Ruhpolding	J	1	4553048	5286824	940	10,6	168	4,5	11,25	1750	900	125	Würmeiszeit, Grundmoräne	KB3	Aposerido-Fagetum typicum	
112		J	2	4553144	5286904	971	19,4	206	4,5	11,25	1750	900	125	Würmeiszeit, Grundmoräne	KB3	Aposerido-Fagetum typicum	
121		W	1	4551195	5287184	1016	19,5	171	5,5	11,25	1750	1100	125	Raibler Schichten	KB3	Aposerido-Fagetum typicum	
122		W	2	4551452	5287317	1081	22,2	212	5,5	11,25	1750	1100	125	Raibler Schichten	KB3	Aposerido-Fagetum typicum	
131		R	1	4551794	5287224	1025	31,2	165	5,5	11,25	1750	1100	125	Raibler Schichten	KB3	Aposerido-Fagetum typicum	
132		R	2	4552428	5287499	1183	27,8	215	4,5	11,25	1750	900	125	Wettersteinkalk	KB3/sB3	Aposerido-Fagetum typicum	
211		Oberammergau	J	1	4422492	5275528	1058	20,8	173	5,5	11,25	1750	1100	125	Flysch: Ofertschwanger Schichten	SB4	Luzulo-Fagetum oxalidetosum
212			J	2	4422452	5275519	1052	18,3	176	5,5	11,25	1750	1100	125	Flysch: Ofertschwanger Schichten	SB4	Luzulo-Fagetum oxalidetosum
221			W	1	4422239	5275666	1073	17,7	235	5,5	11,25	1750	1100	115	Flysch: Piesenkopf Serie	SB4/ST8	Luzulo-Fagetum oxalidetosum
222			W	2	4422550	5275447	1044	20,0	172	5,5	11,25	1750	1100	115	Flysch: Ofertschwanger Schichten	SB4	Luzulo-Fagetum oxalidetosum
231			R	1	4420368	5276986	1293	30,6	208	4,5	10,75	1750	1100	115	Flysch: Zementmergel-Serie	sb5	Gallo-Fagetum adenostyletosum alliariae
232			R	2	4420253	5277162	1350	33,2	233	4,5	10,75	1750	1100	105	Flysch: Zementmergel-Serie	sb5	Gallo-Fagetum adenostyletosum alliariae
311	Tölz		J	1	4458862	5281213	1106	14,7	307	5,5	11,25	1750	1100	115	Würmeiszeit, Grundmoräne	SB4	Gallo-Fagetum polytrichetosum
312			J	2	4459093	5280965	1211	27,2	306	4,5	10,75	1750	1100	115	mittlerer Jura	SB4	Gallo-Fagetum polytrichetosum
321			W	1	4457017	5280701	1086	16,0	246	4,5	10,75	1750	1100	115	Hangschutt	KB3/sT8	Aposerido-Fagetum typicum
322			W	2	4456985	5280804	1091	14,7	205	4,5	10,75	1750	1100	115	Kössener Schichten	KB3	Aposerido-Fagetum typicum
331			R	1	4457672	5280229	1114	24,1	48	4,5	10,75	1750	1100	105	Neokom-Aptychen-Schichten	sb5	Gallo-Fagetum ranunculetosum lanuginosi
332			R	2	4457413	5280224	1220	28,0	72	4,5	10,75	1750	1100	105	Neokom-Aptychen-Schichten	sb5	Gallo-Fagetum ranunculetosum lanuginosi

Tab. 4.18: Parzellenbeschreibung Teil 2.

PARZELLE	Ort	Altersstufe	Behandlung	Alter	Bontät nach Assmann-Franz	Exakte Parzellengröße [m ²]	N/ha	G/ha [m ²]	Anzahl Eingriffe	Eingriff 1: Zeitpunkt	Eingriff 2: Zeitpunkt	Eingriff 3: Zeitpunkt	Schnebruchzeit	Eingriff 1: Stärke (laut Revierbuch) [efm]	Eingriff 2: Stärke (laut Revierbuch) [efm]	Eingriff 3: Stärke (laut Revierbuch) [efm]	Volumen Tatsächliche Eingriff 1 [efm]	Eingriff 1: Tatsächliche Grundfläche [efm]	Eingriff 2: Tatsächliche Grundfläche [efm]	Eingriff 3: Tatsächliche Grundfläche [efm]	Entnommene Grundfläche auf Parzelle in %	
111	Ruhpolding	J	1	43	40,8	964	1504	40,6	1	1998	-	-	-	31	-	-	80,0	12,6	-	-	25,2	
112		J	2	50	30,6	945	2328	50,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
121		W	1	67	27,8	1889	1022	38,0	1	1998	-	-	-	-	37	-	-	155,6	18,8	-	-	37,8
122		W	2	65	29,1	1779	2315	62,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
131		R	1	83	35,4	1695	384	47,7	2	1999	1979	-	-	-	53	67	-	136,5	13,6	-	-	25,5
132		R	2	85	34,0	1927	649	68,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211	Oberammergau	J	1	45	41,6	923	1593	65,5	1	1996	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	
212		J	2	45	40,6	934	1906	57,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
221		W	1	64	32,8	1902	841	40,6	3	2002	1996	1986	-	106	30	30	167,1	20,8	-	-	34,3	
222		W	2	64	36,1	1861	951	54,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
231		R	1	90	33,5	1704	540	68,2	2	2002	1988	-	-	-	76	85	-	232,9	22,3	-	-	25,8
232		R	2	90	31,2	1603	1054	101,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
311	Tölz	J	1	39	45,2	958	605	31,7	1	1998	-	-	-	103	-	-	205,2	29,0	-	-	55,3	
312		J	2	40	38,2	888	1723	60,5	-	-	-	-	-	2000	-	-	-	-	-	-	-	
321		W	1	68	35,2	1879	591	47,2	1	1999	-	-	-	2000	73	-	154,3	18,9	-	-	31,4	
322		W	2	66	34,3	1875	885	58,5	-	-	-	-	-	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
331		R	1	62	40,8	1807	376	41,4	2	1996	1989	-	-	-	061	?	-	102,4	11,4	-	-	26,4
332		R	2	60	39,9	1728	677	51,1	-	-	-	-	-	2000	-	-	-	-	-	-	-	-

Altersstadien: J= Jugendstadium
W= Wachstumsstadium
R= Reifestadium

Behandlung: 1= behandelt
2= unbehandelt

Die Werte N/ha (Stammzahl/ha) und G/ha (Grundfläche/ha) sind auf die Horizontalfläche berechnet

Legende zu Parzellenbeschreibung Teil 1.

- KB3 Mäßig frischer Karbonat-Bergmischwald
- sT8 Feuchter nährstoffreicher Tannen-Fichtenwald
- sB3 Mergelsteilhang-Bergmischwald
- sB4 Frischer Silikat-Mull-Bergmischwald
- sB5 Sehr frischer Silikat-Mull-Bergmischwald
- sb5 Sehr frischer hochmontaner Silikat-Mull-Bergmischwald
- SB4 Frischer Silikat-Moder-Bergmischwald
- ST8 Feuchter nährstoffarmer Tannen-Fichtenwald

Tab. 4.19: Strukturparameter und Mischungsanteile

PARZELLE	Ort	Altersstufe	Behandlung	Aggregationsindex nach Clark & Evans (1954)	Durchmesserdifférenzierung T1 nach Földner (1995)	Durchmesserdifférenzierung T2 nach Földner (1995)	Durchmesserdifférenzierung T3 nach Földner (1995)	Profilindex: Höhengrenzen 80%,50%	Relativer Profilindex [%]	Fichte: Anteil in %	Buche: Anteil in %	Tanne: Anteil in %	Lärche: Anteil in %	Ahorn: Anteil in %	Ulme: Anteil in %	Mehlbereere: Anteil in %	
111	Ruhpolding	J	1	0,92	0,34	0,32	0,33	0,98	89,6	99,4	0	0	0	0,6	0	0	
112		J	2	1,12	0,38	0,35	0,36	0,97	88,0	96,8	0	0	0	2,0	0	1,1	
121		W	1	0,92	0,29	0,28	0,3	0,91	82,4	92,8	4,1	0	0	3,1	0	0	0
122		W	2	1,14	0,28	0,28	0,25	0,80	73,1	98,7	1,3	0	0	0	0	0	0
131	Oberammergau	R	1	1,05	0,29	0,27	0,28	0,68	61,7	100,0	0	0	0	0	0	0	0
132		R	2	1,03	0,35	0,41	0,36	0,92	84,2	97,4	2,6	0	0	0	0	0	0
211		J	1	1,06	0,32	0,33	0,3	0,72	65,3	99,1	0,9	0	0	0	0	0	0
212		J	2	0,98	0,33	0,35	0,35	0,97	88,5	97,1	2,9	0	0	0	0	0	0
221	Töt	W	1	1,07	0,34	0,32	0,3	0,77	70,3	92,9	4,2	2,9	0	0	0	0	0
222		W	2	1,04	0,33	0,32	0,29	0,83	75,7	97,6	2,4	0	0	0	0	0	0
231		R	1	1,18	0,32	0,26	0,29	0,65	59,6	100,0	0	0	0	0	0	0	0
232		R	2	1,21	0,26	0,25	0,26	0,61	55,9	100,0	0	0	0	0	0	0	0
311	Töt	J	1	1,12	0,32	0,3	0,27	0,77	70,2	100,0	0	0	0	0	0	0	0
312		J	2	1,04	0,31	0,28	0,26	0,81	73,8	100,0	0	0	0	0	0	0	0
321		W	1	1,18	0,27	0,29	0,28	0,84	76,9	96,0	3,9	0	0	0	0	0,1	0
322		W	2	1,22	0,28	0,27	0,3	0,61	55,4	94,4	5,6	0	0	0	0	0	0
331	Töt	R	1	1,06	0,32	0,33	0,36	0,91	83,1	99,4	0,3	0,3	0	0	0	0	0
332		R	2	1,1	0,34	0,34	0,32	0,89	81,3	96,6	3,4	0	0	0	0	0	0

Altersstadien:
 J= Jugendstadium
 W= Wachstumsstadium
 R= Reifestadium

Behandlung:
 1= behandelt
 2= unbehandelt

4.3.1 Charakterisierung der Altbestände (Resistenz)

4.3.1.1 Modellierung von Kronenansatzhöhen und Durchmesserzuwächsen

4.3.1.1.1 Kronenansatzhöhen

Als bestes Regressionsmodell zur Schätzung der Kronenansatzhöhen ergab sich folgende Funktion:

$$KH = b_0 + b_1 \cdot \text{Alter} + b_2 \cdot \text{HAN} + b_3 \cdot G + b_4 \cdot Ho + b_5 \cdot (Ho)^2 + b_6 \cdot s1 + b_7 \cdot v1 \quad (4.16)$$

KH = Kronenansatzhöhe [m]

b_0 - b_7 = Funktionsparameter: siehe Tab. 4.20

Alter = Alter des Bestandes [Jahre]

HAN = Hangneigung [°]

G = Grundfläche pro Hektar [m²]

Ho = Höhe [m]

s1 = Indikatorvariable 1 für die soziale Stellung:

2 für die Klasse „Krone nach allen Seiten frei“

-1 für die beiden Klassen „Krone 21-50% bedrängt“ und „Krone über 50% bedrängt“

v1 = Indikatorvariable 1 für die Vitalität

2 für Bäume der besten Vitalität

-1 für die beiden Klassen „Mittlere Vitalität“ und „Eingeschränkte Vitalität“

Tab. 4.20 zeigt die Variablen mit ihren Parametern in der Reihenfolge der Aufnahme in das Modell. Demnach ist statistisch gesehen das Alter der wichtigste Einflussfaktor für die Kronenansatzhöhe, gefolgt von der Hangneigung. Mit steigendem Alter nimmt die Kronenansatzhöhe zu, während sie mit steigender Hangneigung abnimmt. Bei gleichem Alter haben höhere Fichten eine größere Kronenansatzhöhe. Dieser Trend ist aber mit zunehmender Höhe rückläufig, was an dem negativen Vorzeichen des Parameters für Ho^2 erkennbar ist. Die Erkenntnisse zur Höhe werden von den Ergebnissen KENNELS (1965) gestützt, der feststellte, dass die Kronenansatzhöhe in Fichtenbeständen maßgeblich von der Baumhöhe und kaum vom Brusthöhendurchmesser beeinflusst wird. Die Indikatorvariablen s1 und v1 zeigen, dass sowohl frei stehende Bäume als auch sehr vitale Bäume niedrigere Kronenansatzhöhen, also längere Kronen haben als bedrängte oder weniger vitale. Mit der Grundfläche pro Hektar wurde eine Variable aufgenommen, welche die Bestandesdichte beschreibt. In dichteren Beständen sind die Kronenansatzhöhen größer. Das Modell erreicht mit 0,61 ein für die relativ schwierig zu schätzende Kronenansatzhöhe gutes Bestimmtheitsmaß.

Tab. 4.20: Parameter der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Kronenansatzhöhen. (N= Anzahl der verwendeten Bäume nach Ausreißeranalyse, in Klammern der Wert vor Ausreißeranalyse.)

Kronenansatzhöhen		N = 444 (479)	$r^2=0,61$	$p < ,0001$
		Mittl. einfache Abweichung:		$\pm 1,97$
Variable	Parameter	Standardfehler des Parameters	Parziales Bestimmtheitsmaß	Signifikanzniveau
y = Kronenansatzhöhe [m]				
Konstante	b_0	-10.91482	1.57031	$< ,0001$
Alter	b_1	0.09136	0.00879	0.3532
Hangneigung	b_2	-0.15911	0.01886	0.0545
Grundfläche/ha	b_3	0.05301	0.00909	0.0439
Baumhöhe	b_4	1.33099	0.13754	0.0446
(Baumhöhe) ²	b_5	-0.02383	0.00297	0.0638
Indikator s1	b_6	-0.39252	0.07223	0.0395
Indikator v1	b_7	-0.27685	0.07197	0.0132

Die Modellvoraussetzungen wurden sämtlich erfüllt. Abb. 4.11 und Abb. 4.12 zeigen den Residual- und den Normalquantilplot. Die 45°-Linie im Normalquantilplot zeigt den Idealverlauf normalverteilter Daten an. Die Normalverteilungsannahme der ausgewerteten Daten erscheint trotz der geringfügigen Abweichungen in den Randbereichen durchaus gerechtfertigt (vgl. KRÄMER et al. 2005, S. 188).

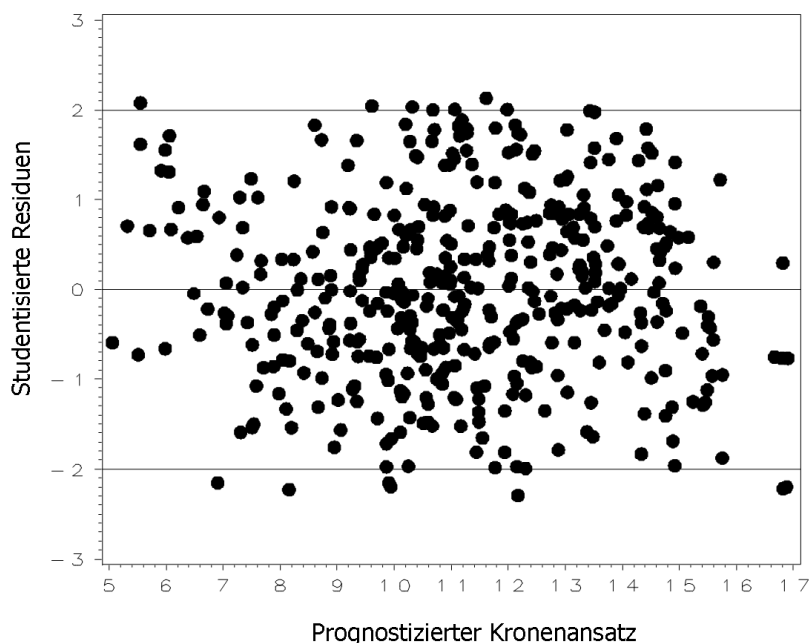


Abb. 4.11: Residuen der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Kronenansatzhöhen über den prognostizierten Werten

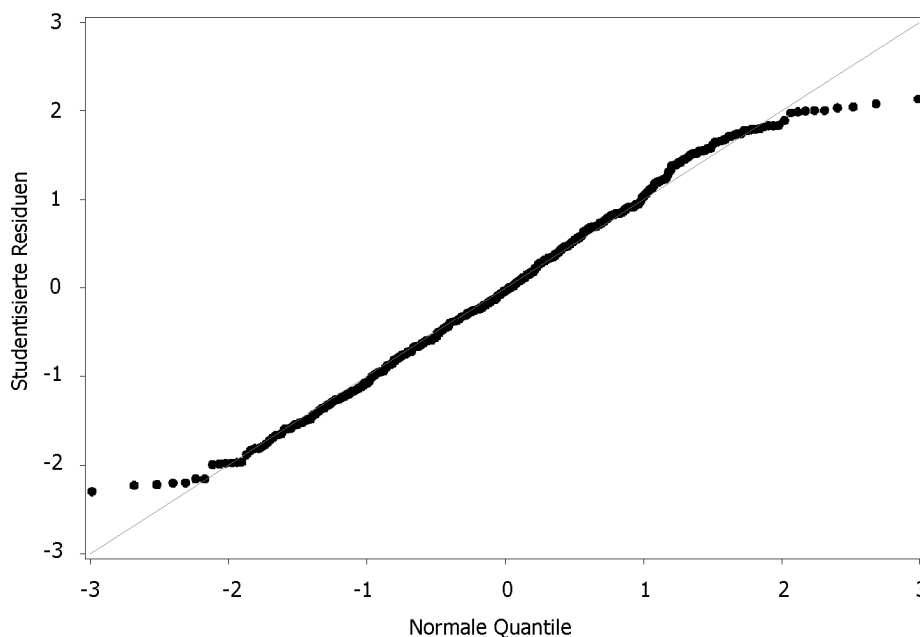


Abb. 4.12: Normalquantilplot der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Kronenansatzhöhen. Die Linie in 45° zeigt den Idealverlauf normalverteilter Daten an.

Übermäßige Korrelationen der unabhängigen Variablen untereinander konnten nicht festgestellt werden. Der CI-Index bleibt mit 17,7 deutlich unter den geforderten 30, und die Toleranzwerte unterschreiten, wie in Tab. 4.21 zu sehen, in keinem Fall 0,20⁶⁸.

Tab. 4.21: Bestimmtheitsmaße der multiplen Regressionsanalysen zwischen den unabhängigen Variablen und daraus abgeleitete Toleranzwerte sowie Ergebnisse der statistischen Tests.

Zu prüfende Variable	zur Erklärung benutzte Variablen	Bestimmtheitsmaß (R^2)	Toleranz ($1-R^2$)
Alter	Hangneigung, Baumhöhe, s1, Grundfläche/ha, v1	0,59	0,41
Hangneigung	Alter, Baumhöhe, s1, Grundfläche/ha, v1	0,31	0,69
Baumhöhe	Alter, Hangneigung, s1, Grundfläche/ha, v1	0,58	0,42
Indikator s1	Alter, Hangneigung, Baumhöhe, Grundfläche/ha, v1	0,24	0,76
Grundfläche/ha	Alter, Hangneigung, Baumhöhe, s1, v1	0,22	0,78
Indikator v1	Alter, Hangneigung, Baumhöhe, s1, Grundfläche/ha	0,28	0,72
Statistischer Test		Wert	
Multikollinearität (Konditionskoeffizient)		CI	17,7
Heteroskedastizität (White-Test)		$p > \chi^2$	0,48

⁶⁸ Die Toleranz ($1-R^2$) ermittelt sich wie in Kapitel 4.2.3. beschrieben, indem man für jede unabhängige Variable eine Regressionsanalyse berechnet. Dabei wird versucht, diese Variable durch die anderen unabhängigen Variablen zu erklären.

Verwendete man anstelle der Variable s_1 für die soziale Stellung die Indikatorvariablen für die Kraftschen Klassen so ergab sich eine ähnlich gute Anpassung der geschätzten Werte an die gemessenen. Hier waren jedoch die Toleranzwerte für die Variablen Alter und Höhe deutlich geringer, weshalb dieses Modell nicht zur Anwendung kam.

Außerdem konnte ein weiteres Regressionsmodell gleicher Qualität aufgestellt werden, bei dem die im letzten Eingriff entnommene Grundfläche als Variable mit aufgenommen wurde. Diese Variable hatte allerdings ein positives Vorzeichen. Das bedeutet, je mehr Grundfläche entnommen worden war, desto größer war die Kronenansatzhöhe. Dieses zunächst unerwartete Ergebnis erklärt sich durch die Anwesenheit der absoluten Grundfläche/ha nach dem Eingriff im Modell. Geht man von aktuell gleichen Grundflächen aus, so bedeutet eine höhere Entnahme, dass die absolute Grundfläche/ha vor dem Eingriff entsprechend größer war. Dieser Umstand ist für die größeren Kronenansatzhöhen ursächlich und nicht die höheren Entnahmen. Die Kronenlänge ist offensichtlich eine Variable, die relativ träge reagiert. Die Eingriffe haben kurzfristig noch keinen entscheidend positiven Einfluss darauf.

Eine geringfügige Verbesserung des Modells ließ sich erzielen, wenn der Konkurrenzindex KKL nach PRETZSCH (2002) mit in das Modell aufgenommen wurde. Letztlich wurde dieses Modell aber verworfen, da sich hier gewissermaßen ein Zirkelschluss ergibt: Zur Berechnung des KKL wird bereits die Kronenansatzhöhe geschätzt.

4.3.1.1.2 Einzelbaumzuwächse

Die multiple Regressionsanalyse zur Schätzung des laufenden Durchmesserzuwachses in den letzten 9 Jahren vor der Datenerhebung⁶⁹ ergab folgendes Modell mit den in Tab. 4.22 aufgelisteten Parametern:

$$id_9 = b_0 + b_1 \cdot \frac{BHD}{Alter} + b_2 \cdot (Entn_G \cdot \frac{BHD}{Alter}) + b_3 \cdot KH + b_4 \cdot v_1 + b_5 \cdot s_2 + b_6 \cdot BonQ + b_7 \cdot s_1 \quad (4.17)$$

id_9 = Mittlerer Durchmesserzuwachs der letzten 9 Jahre [mm]
 b_0 - b_7 = Funktionsparameter: siehe Tab. 4.22

⁶⁹ Wie in Kapitel 4.2.3.1.1. dargelegt, stellte der Zeitraum von 9 Jahren gewissermaßen das „kleinste gemeinsame Vielfache“ für die Parzellen dar, die zu Unterschiedlichen Zeitpunkten behandelt worden waren.

BHD/Alter	=	Mittlerer Zuwachs über das bisherige Bestandesleben als Ausdruck für die durchschnittliche Vitalität des Baumes
Entn_G	=	Grundfläche der entnommenen Bäume [m ²]
BonQ	=	Quotient: h ₀ /Alter
s1	=	Indikatorvariable 1 für die soziale Stellung: 2 für die Klasse „Krone nach allen Seiten frei“ -1 für die beiden Klassen „Krone 21-50% bedrängt“ und „Krone über 50% bedrängt“
s2	=	Indikatorvariable 2 für die soziale Stellung: 0 für die Klasse „Krone nach allen Seiten frei“ 1 für die Klasse „Krone 21-50% bedrängt“ -1 für die Klasse „Krone über 50% bedrängt“
v1	=	Indikatorvariable 1 für die Vitalität 2 für Bäume der besten Vitalität -1 für die beiden Klassen „Mittlere Vitalität“ und „Eingeschränkte Vitalität“
KH	=	Kronenansatzhöhe [m]

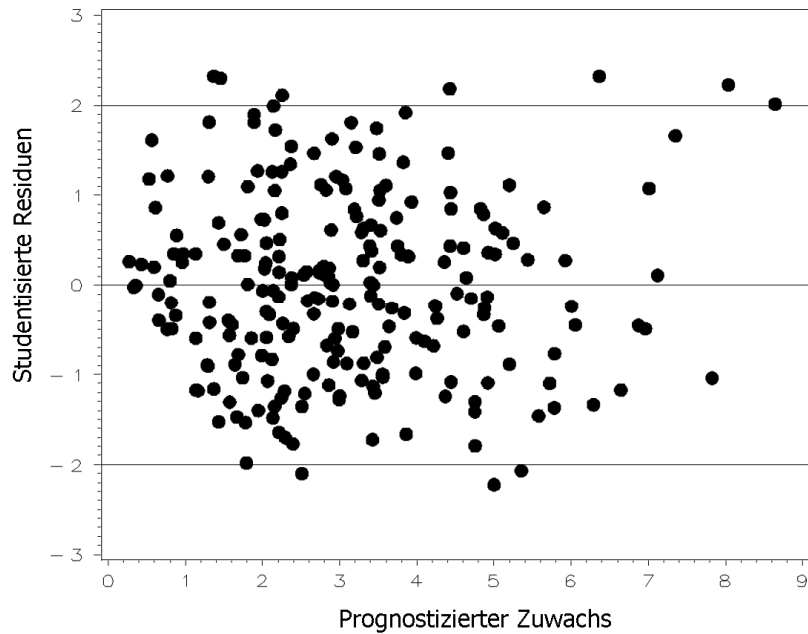
Neben dieser rückblickenden Schätzung mit dem aktuellen BHD als Eingangsgröße wurde auch eine vorblickende Regressionsanalyse mit dem BHD vor 9 Jahren als Eingangsgröße gerechnet. Beide Berechnungsvarianten wurden auch für einen fünfjährigen Betrachtungszeitraum durchgeführt. Die Struktur des Modells erwies sich dabei als sehr robust. Es wurden immer dieselben unabhängigen Variablen ausgewählt und die Parameter hatten ähnliche Größenordnungen. Im Fall der dargestellten Variante war das Bestimmtheitsmaß jedoch am größten und die einfache mittlere Abweichung am kleinsten.

Eine geringfügige Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes ließ sich bei Aufnahme des Konkurrenzindex nach BIGING und DOBBERTIN (1992, 1995) (In der Variante mit der Kronenfläche) erzielen. Nachdem hierbei aber die Autokorrelation der unabhängigen Variablen größer war, wurde dieses Modell verworfen.

Tab. 4.22: Parameter der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung des durchschnittlichen Durchmesserzuwachses in den letzten 9 Jahren. (N= Anzahl der verwendeten Bäume nach Ausreißeranalyse, in Klammern der Wert vor Ausreißeranalyse).

Durchschnittlicher Durchmesserzuwachs der letzten 9 Jahre		N = 234 (260)		r ² =0,84	p < ,0001
		Mittl. einfache Abweichung:			± 0,71
Variable	Parameter	Standardfehler des Parameters	Parzielles Bestimmtheitsmaß	Signifikanzniveau	
y = id ₉ [mm]					
Konstante	b ₀	-0,92231	0,32357		0.0048
BHD/Alter	b ₁	7,14687	0,42785	0,765	<.0001
Entn_G*BHD/Alter	b ₂	0,07163	0,01205	0,025	<.0001
KH	b ₃	-0,06294	0,01382	0,022	<.0001
Indikator v1	b ₄	0,13690	0,03568	0,011	0.0002
Indikator s2	b ₅	0,27034	0,06472	0,007	<.0001
BonQ	b ₆	2,83807	0,68821	0,009	<.0001
Indikator s1	b ₇	0,10000	0,04040	0,004	0.0141

Wie aus Residual- und Normalquantilplot (Abb. 4.13 und Abb. 4.14) sowie der Tabelle mit den Toleranzen (Tab. 4.23) zu ersehen, gab es auch hier keine Verstöße gegenüber den Modellvoraussetzungen.



I

Abb. 4.13: Residuen der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Einzelbaumzuwächse über den prognostizierten Werten

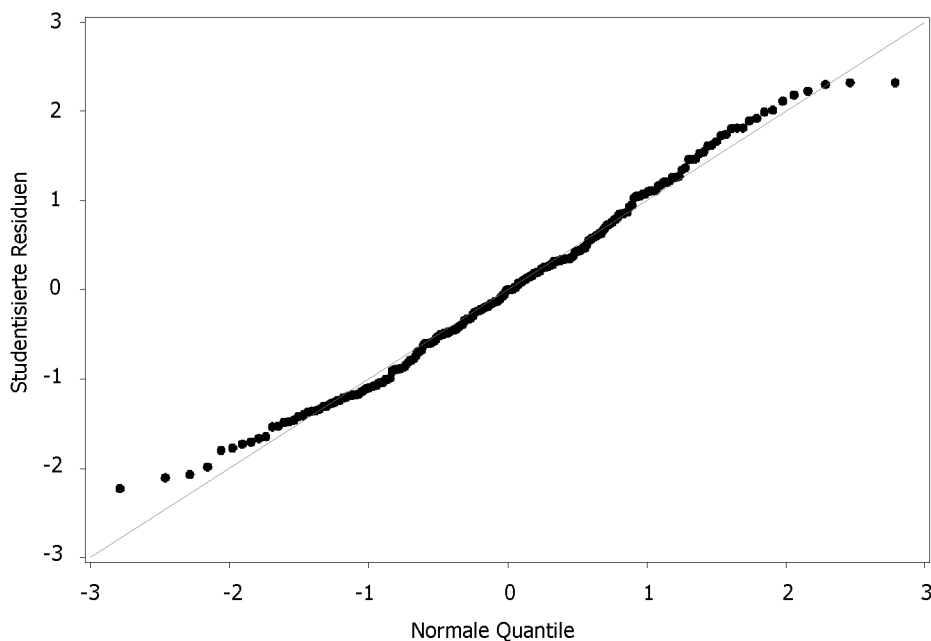


Abb. 4.14: Normalquantilplot der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Einzelbaumzuwächse. Die Linie in 45° zeigt den Idealverlauf normalverteilter Daten an.

Tab. 4.23: Bestimmtheitsmaße der multiplen Regressionsanalysen zwischen den unabhängigen Variablen und daraus abgeleitete Toleranzwerte sowie Ergebnisse der statistischen Tests.

Zu prüfende Variable	zur Erklärung benutzte Variablen	Bestimmtheitsmaß (R ²)	Toleranz (1-R ²)
BHD/Alter	Entn_G*BHD/Alter, BonQ, s1, s2, v1, KH	0,69	0,31
Entn_G*BHD/Alter	BHD/Alter, BonQ, s1, s2, v1, KH	0,12	0,88
BonQ	Entn:G*BHD/Alter, BHD/Alter, s1, s2, v1, KH	0,30	0,70
s1	Entn:G*BHD/Alter, BHD/Alter, BonQ, s2, v1, KH	0,45	0,55
s2	Entn:G*BHD/Alter, BHD/Alter, BonQ, s1, v1, KH	0,16	0,84
v1	Entn:G*BHD/Alter, BHD/Alter, BonQ, s1, s2, KH	0,22	0,78
KH	Entn:G*BHD/Alter, BHD/Alter, BonQ, s1, s2, v1	0,09	0,91
Statistischer Test		Wert	
Multikollinearität (Konditionskoeffizient)		CI	18,9
Heteroskedastizität (White-Test)		p> χ^2	0,96

Erwartungsgemäß hat die Wechselwirkung aus BHD/Alter die größte Erklärungskraft für den Durchmesserzuwachs. Je stärker der Baum ist und je schneller er diesen Durchmesser erreicht hat, desto größer ist auch sein laufender Zuwachs. Weiterhin trägt auch die Eingriffsstärke zur Erklärung des Zuwachses bei, was in der Wechselwirkung Entn_G*BHD/Alter zum Ausdruck kommt. Je stärker der Eingriff ausgefallen ist, desto höher fiel auch der Durchmesserzuwachs aus, wobei die Fichten umso mehr von dem Eingriff profitieren konnten, je stärker sie zum Zeitpunkt des Eingriffs waren und je früher der Eingriff stattfand. Abb. 4.15 verdeutlicht diese Zusammenhänge. Hier ist der mittlere Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit von Alter, BHD und Entnahme dargestellt. Alle anderen Variablen wurden auf gleichem Niveau gehalten.

In der Abbildung ist deutlich erkennbar, dass die Kurven im Alter 70 flacher und auf niedrigerem Niveau verlaufen als im Alter 50. Aber auch die Abstände zwischen den Linien sind im Alter 70 geringer als im Alter 50. Der Effekt der Eingriffe wird mit zunehmendem Alter also schwächer. Im dargestellten Fall liegt die durchschnittliche Zuwachssteigerung für den Eingriff im Alter 50 bei ca. 1 mm pro Jahr, also 1 cm in 10 Jahren. Erfolgt der Eingriff erst im Alter 70, kann der Zuwachs in 10 Jahren nur um ca. 0,7 cm gesteigert werden.

Bei stärkeren Eingriffen verlaufen die Zuwachsgeraden auf höherem Niveau und steiler. Dabei kann der Zuwachs natürlich nicht beliebig gesteigert werden. Bekanntlich geht er bei sehr frei stehenden Bäumen aufgrund der großen Krone tendenziell wieder zurück (PRETZSCH 2006). Im vorliegenden Datenmaterial wurde dieser Effekt jedoch noch nicht festgestellt.

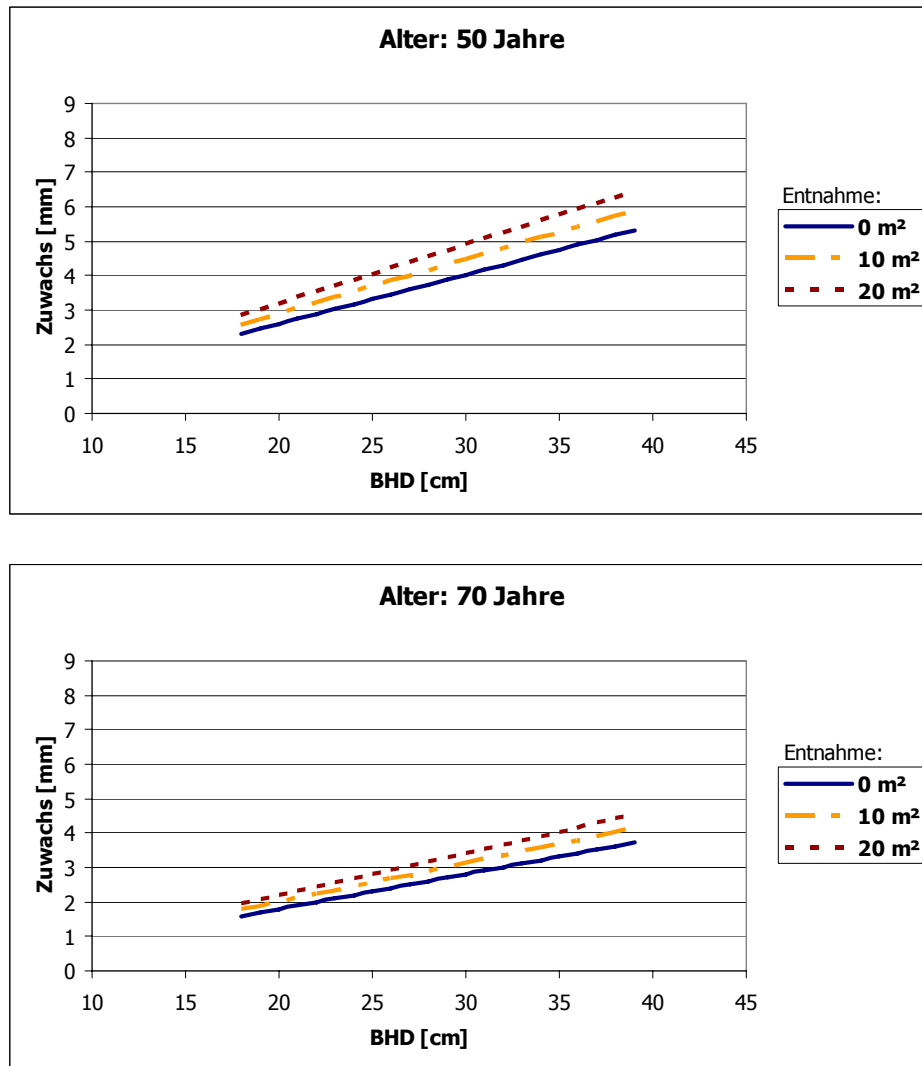


Abb. 4.15: Mittlerer Durchmesserzuwachs bei Entnahmen von 0, 10 und 20 m² Grundfläche. Oben im Alter 50, unten im Alter 70 (alle anderen Variablen auf mittlerem Niveau).

Die weiteren in die Regressionsanalyse aufgenommenen Variablen sagen aus, dass vitalere (v1), freier stehende (s1, s2) Fichten mit längeren Kronen (KH) auf besseren Standorten (BonQ) den größeren Zuwachs haben.

Für die Modellierung des Zuwachses aller Fichten zur Datenergänzung wurden die Kronenansatzhöhen aus dem ersten Regressionsmodell geschätzt und in das Zuwachs-Modell eingesetzt.

4.3.1.2 Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen auf die Altbestandsparameter

Im Folgenden werden die Ergebnisse der varianzanalytischen Untersuchungen zum Altbestand dargestellt.

4.3.1.2.1 Bestandesdichten

Wie zu erwarten, weisen die behandelten Parzellen im Mittel geringere Stammzahlen und Grundflächen je ha auf als die unbehandelten (Abb. 4.16 und Abb. 4.17). Die Unterschiede sind in allen Alterstufen signifikant oder zumindest nahe an der Signifikanzgrenze (Tab. 4.24).⁷⁰ Die Eingriffe zeigen also deutliche Wirkung auf die Bestandesdichte.

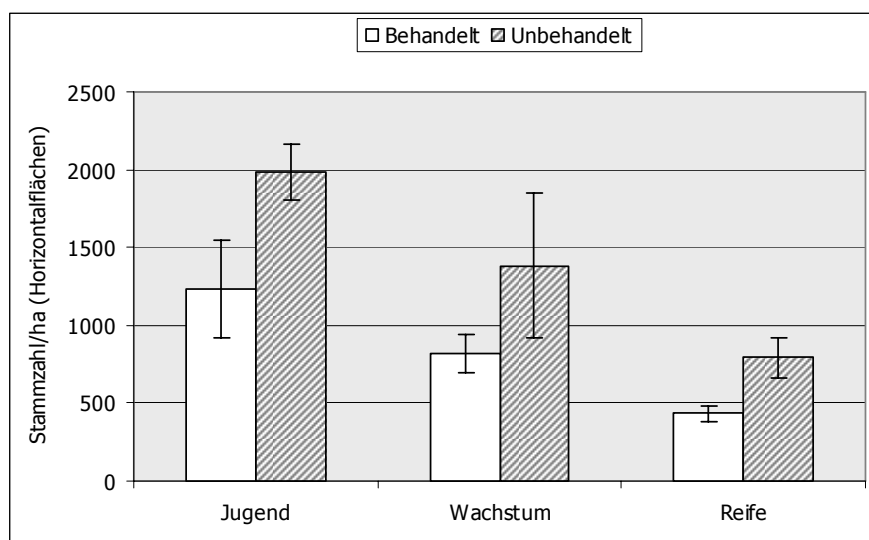


Abb. 4.16: Mittlere Stammzahlen/ha(Horizontalflächen) mit Standardfehlern

Generell ist zu bemerken, dass die Bestände sehr hohe Dichten aufweisen. Die Grundflächenwerte überschreiten zum Teil deutlich die Werte laut Ertragstafel Assmann-Franz. Auch die Stand-Density-Werte gemäß REINEKE (1933) fallen sehr hoch aus (Abb. 4.18). Dieser Umstand ist mit der vergrößerten Standfläche aufgrund der Hangneigung zu erklären.

⁷⁰ Zur besseren Veranschaulichung werden im Folgenden Säulendiagramme der unveränderten und untransformierten Mittelwerte und der Standardfehler gezeigt. In den Varianzanalysen müssen die Werte aber z.T. transformiert werden. Manchen Mittelwerten liegen außerdem unterschiedliche Stichproben zu Grunde (z.B. eine unterschiedliche Zahl von Bäumen bei den h/d-Verhältnissen). In solchen Fällen wurden die Mittelwerte anhand der Stichprobenzahlen adjustiert. Somit ist es möglich Stichprobenzahl-unabhängige Hypothesen zu testen. Daraus folgt aber gleichzeitig, dass die dargestellten Grafiken auf den ersten Blick optisch nicht immer direkt im Einklang mit den Ergebnissen der Varianzanalysen stehen.

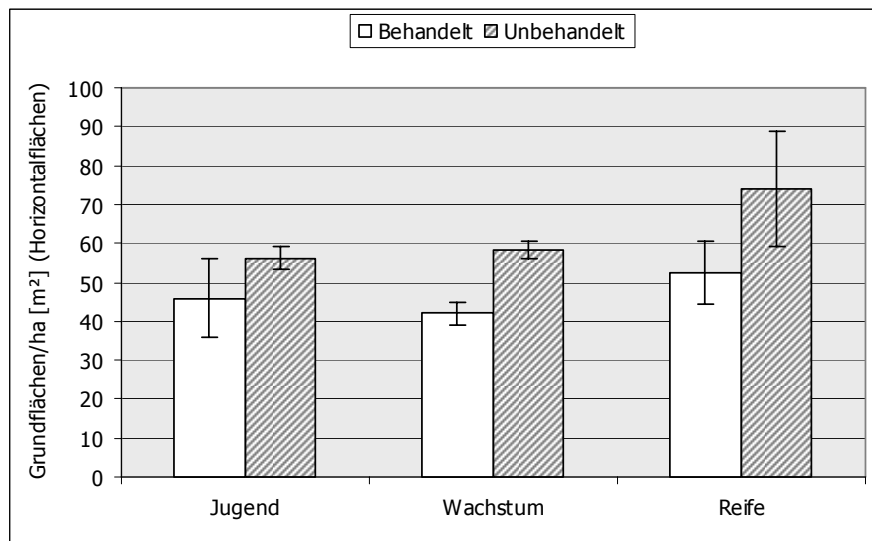


Abb. 4.17: Mittlere Grundflächen/ha (Horizontalflächen) mit Standardfehlern

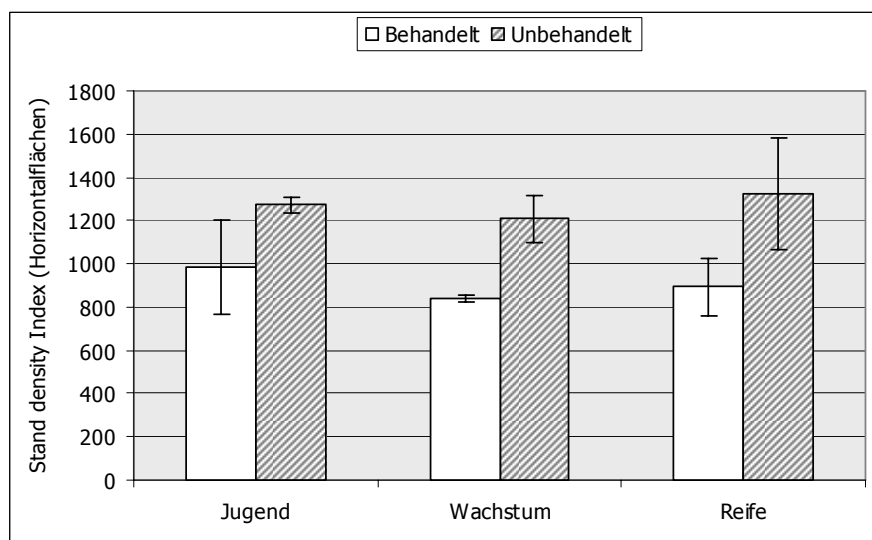


Abb. 4.18: Mittlere Stand-Density-Indizes (Horizontalflächen) mit Standardfehlern

STERBA (1991) gibt als obere Rahmenwerte des Stand-Density-Index (SDI) für Fichtenbestände bei maximaler Bestockungsdichte 900-1100 an. Werte um 900 werden hier selbst in kräftig durchforsteten Beständen noch erreicht. Die unbehandelten Bestände überschreiten diese Rahmenwerte deutlich. Der Spitzenwert liegt im Reifestadium in Oberammergau bei über 1800.⁷¹ Diese Parzelle weist allerdings auch eine Hangneigung von über 33° auf. SDI-Werte von unter 400, die bei BRANG und HALLENBARTER (2007) als nicht ausreichend für

⁷¹ Die einzelnen Parzellenwerte können dem Tabellenwerk im Anhang entnommen werden.

Schutzwälder bezeichnet werden, treten weder in den behandelten noch in den unbehandelten Beständen auf.

Tab. 4.24 enthält die Werte für die Irrtumswahrscheinlichkeiten aus den Varianzanalysen. Signifikante und andere im Text beschriebene Werte sind fett gedruckt.

Tab. 4.24: p-Werte der Varianzanalysen für die Bestandesdichtewerte inkl. verwendeter Transformation.

Variable	N/ha	G/ha	SDI
Transformation	LN (Y)	LN (Y)	LN (Y)
BL	0,0660	0,0962	0,0900
BL: 1+2 vs 3	0,0242	0,1460	0,0674
BL: 1 vs 2	0,6800	0,0914	0,1898
ALT	0,1835	0,6663	0,9873
ALT: 1+2 vs 3	0,1023	0,4128	0,9705
ALT: 1 vs 2	0,4200	0,8680	0,8865
BEH(ALT)	0,0207	0,0620	0,0279
BEH(ALT1)	0,0400	0,1477	0,0784
BEH(ALT2)	0,0862	0,0996	0,0697
BEH(ALT3)	0,0310	0,0619	0,0349

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)
 ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)
 BEH = Behandlung
 BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.1.2.2 Brusthöhendurchmesser

Für die Betrachtung des Gesamtkollektivs wurden die Grundflächenmittelstämme herangezogen, da diese weniger empfindlich gegenüber rechnerischen Verschiebungen sind, als die Durchmesser der arithmetischen Mittelstämme. Für alle Altersstadien gilt, dass die Brusthöhendurchmesser in den behandelten Parzellen größer sind als in den unbehandelten (Abb. 4.19). In den Jugendstadien liegt der mittlere Durchmesser der behandelten Parzellen um 3,3 cm über denen der unbehandelten, in den Wachstumsstadien um 1,3 cm und in den Reifestadien am deutlichsten mit 4,8 cm. Allerdings ist die Streuung in den Werten relativ hoch. Entsprechend sind diese Unterschiede im Rahmen der Varianzanalyse nicht absicherbar (Tab. 4.25).

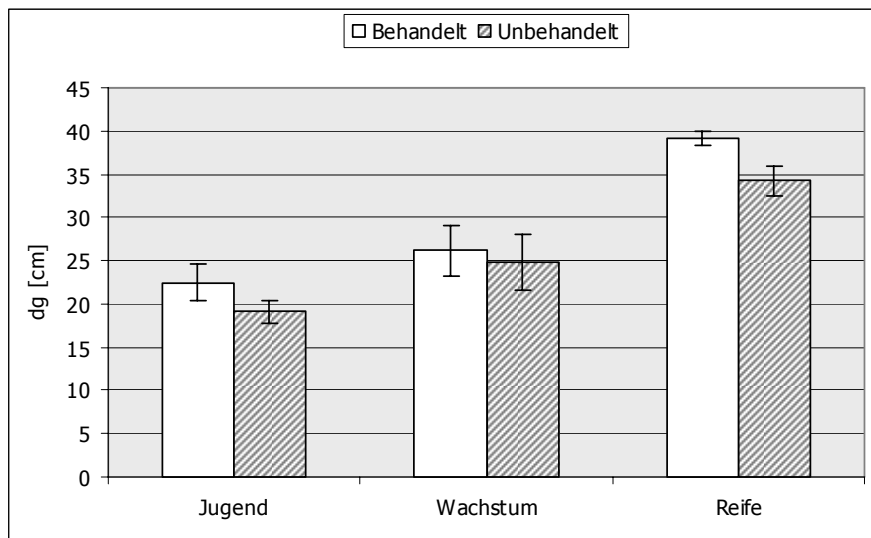


Abb. 4.19: BHD der Grundflächenmittelstämme mit Standardfehlern

Bei den Durchmessern der 100 stärksten Fichten je Hektar sind die Unterschiede deutlich geringer bzw. verschwinden nahezu vollständig, wie im Fall der Wachstumsstadien (Abb. 4.20). Die Eingriffe waren entweder nicht stark genug, um Effekte bei den Oberhöhenstämmen hervorzurufen oder der Wirkungszeitraum war zu kurz. Am ehesten sind noch Unterschiede in den Reifestadien erkennbar, wo bereits zwei Mal während des Bestandeslebens eingegriffen wurde. Aber auch hier lassen sich diese aufgrund der Streuung nicht absichern.

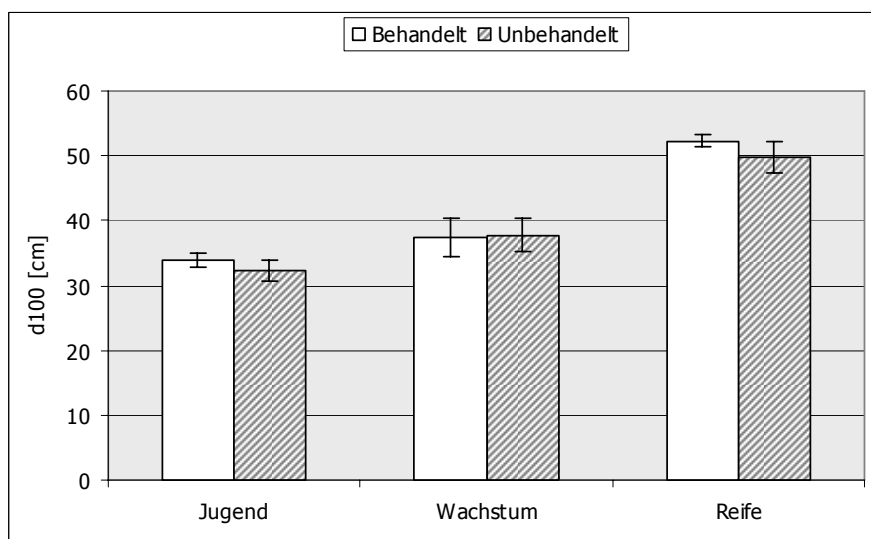


Abb. 4.20: BHD der 100 stärksten Stämme mit Standardfehlern

4.3.1.2.3 h/d-Verhältnisse und weitere Weiser für Wurf- und Bruchstabilität

In Abb. 4.21 sind die mittleren h/d-Werte aus dem Teilkollektiv der *Höhenmessbäume* zu sehen. Dabei zeigen sich in den Wachstumsstadien und den Reifestadien zumindest tendenziell die erwarteten Effekte. Im Mittel sind die h/d-Verhältnisse der behandelten Parzellen etwas niedriger als die der unbehandelten Parzellen. In den behandelten Wachstumsstadien liegen die Schlankheitsgrade bei 83, den unbehandelten bei 90. Den in der Literatur erwähnten Grenzwert von 80 für stabile Bestände unterschreiten in den Reifestadien auch die Bäume der unbehandelten Parzellen mit einem Mittel von 76. Die Fichten der behandelten Parzellen liegen allerdings mit 72 noch einmal deutlich und auch statistisch signifikant unter diesem Wert (Tab. 4.25). Lediglich in den Jugendstadien ist keine Tendenz erkennbar.

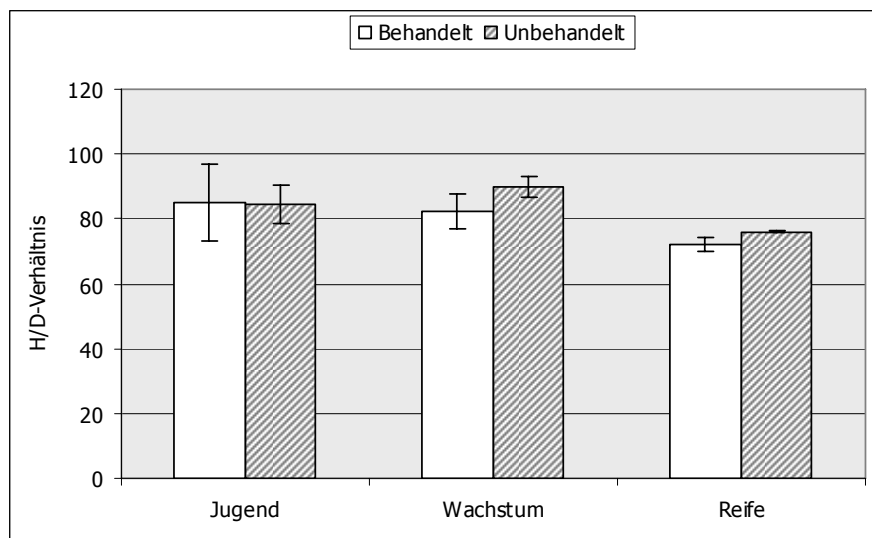


Abb. 4.21: Mittlere h/d-Verhältnisse im Teilkollektiv der Höhenmessbäume

Abb. 4.22 gibt die mittleren h/d-Verhältnisse von *allen Fichten* wieder. Dazu wurden die fehlenden Höhen über Höhenkurven errechnet. Für jede Parzelle wurde eine eigene Höhenkurve nach der Formel von MICHAÏLOFF (1943) erstellt. Hier zeigt sich in den Jugendstadien zumindest andeutungsweise auch ein niedrigeres h/d-Verhältnis bei den behandelten Parzellen. Allerdings sind diese Unterschiede wie auch in den Wachstums- und Reifestadien statistisch nicht abzusichern.

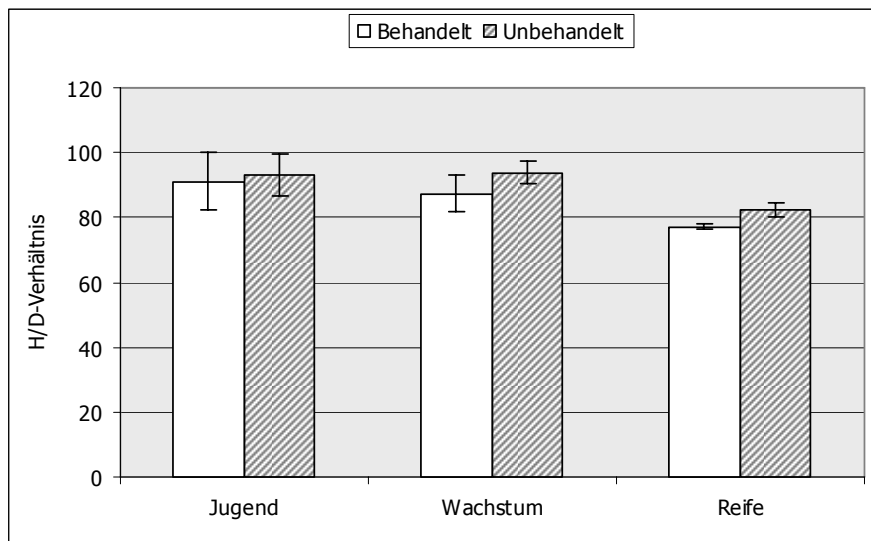


Abb. 4.22: Mittlere h/d-Verhältnisse aller Bäume. Die fehlenden Höhen wurden aus Michailoff-Höhenkurven ergänzt.

Für das Kollektiv der 100 Stärksten Bäume (Abb. 4.23) sind die Unterschiede marginal. Sowohl in den behandelten als auch in den unbehandelten Parzellen liegen die Schlankheitsgrade bei 65-68 (Jugend- und Wachstumsstadien) bzw. bei 61 in den Reifestadien.

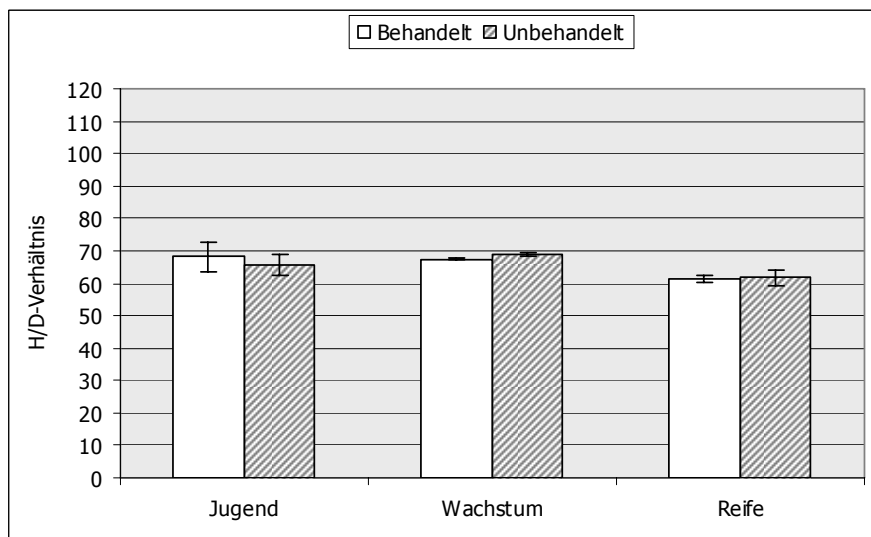


Abb. 4.23: Mittlere h/d-Verhältnisse der 100 stärksten Fichten/ha. Die fehlenden Höhen wurden aus Michailoff-Höhenkurven ergänzt.

Tab. 4.25: p-Werte der Varianzanalysen für BHD und Schlankheitsgrade

Variable	BHD des dg	BHD 100 Stärkste	h/d (Höhen- messbäume)	h/d (alle Fichten, über Höhenkurve)	h/d 100 Stärkste
Transformation	untransformiert	LN(Y)	1/Y	untransformiert	untransformiert
BL	0,0379	0,2238	0,0049	0,0727	0,9073
BL: 1+2 vs 3	0,0828	0,4907	0,0020	0,0284	0,7354
BL: 1 vs 2	0,0480	0,1159	0,1929	0,4936	0,7854
ALT	0,0155	0,0010	0,0440	0,0948	0,0089
ALT: 1+2 vs 3	0,0073	0,0004	0,0195	0,0444	0,0048
ALT: 1 vs 2	0,1387	0,0215	0,6403	0,5145	0,2823
BEH(ALT)	0,3454	0,8824	0,0475	0,4349	0,9255
BEH(ALT1)	0,3135	0,6321	0,2741	0,9337	0,6154
BEH(ALT2)	0,4479	0,8523	0,4697	0,1451	0,6750
BEH(ALT3)	0,1899	0,5561	0,0117	0,5054	0,9552

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)

ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)

BEH = Behandlung

BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

In Abb. 4.24 wurden die h/d-Verhältnisse der einzelnen Parzellen in Boxplots dargestellt, um die Bandbreiten der Schlankheitsgrade aufzuzeigen und um einen direkten optischen Vergleich zwischen den Parzellenpaaren zu ermöglichen.⁷²

⁷² Als Ausreißer werden in den Boxplots folgende Beobachtungen gekennzeichnet: Fälle mit Werten, die zwischen 1,5 und 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Rand der Box entfernt sind. Die Boxlänge entspricht dem interquartilen Bereich.

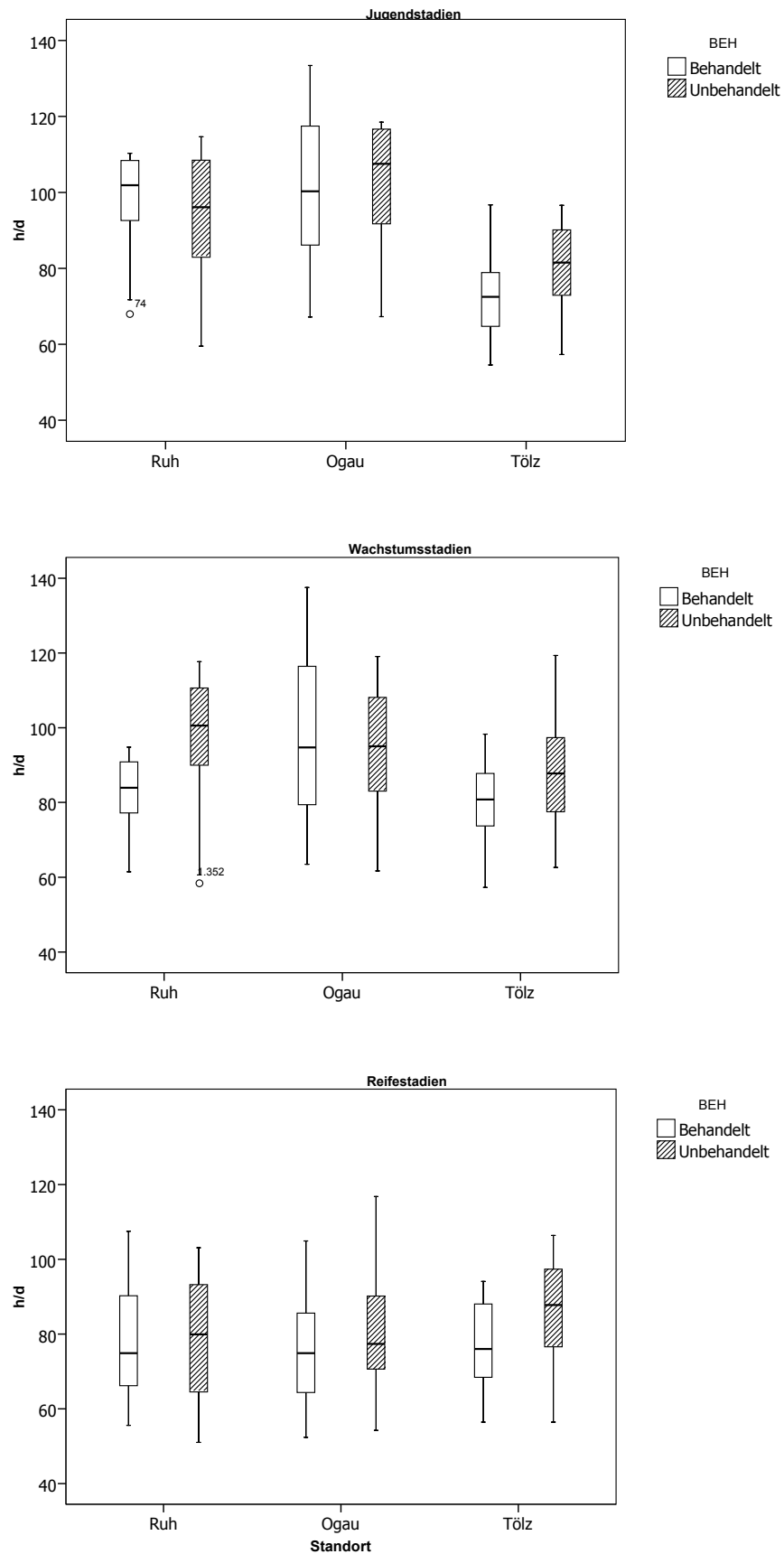


Abb. 4.24: Boxplots der h/d-Werte aller Fichten. (Höhen über Michailoff-Höhenkurven ergänzt). Ruh= Ruhpolding, Ogau= Oberammergau, Tölz= Bad Tölz. (Box: 0,25-0,75-Quartil, Querbalken: Modal, Whisker: Min-Max (exklusive Ausreißer), O: Ausreißer)

Die Tendenzen, welche sich beim Vergleich der Mittelwerte angedeutet haben, zeigen sich hier noch etwas klarer. Fast bei allen behandelten Parzellen liegt der Modal oder die ganze Box auf einem niedrigeren Niveau als bei der zugehörigen unbehandelten Parzelle. Einzige Ausnahme stellt das Flächenpaar im Jugendstadium in Ruhpolding dar. Hier liegen die Schlankheitsgrade in der behandelten Fläche höher. Ursache hierfür ist ein Standortsunterschied: die behandelte Parzelle hat eine bessere Bonität. Das verstärkte Wachstum resultiert in höheren Schlankheitsgraden, was offensichtlich durch die Behandlung nicht kompensiert werden konnte.⁷³

Nachdem der absolute h/d-Wert ähnlich wie die Kronenlänge ein Wert ist, der eher träge auf Eingriffe reagiert (ROTTMANN 1986) und außerdem einer rechnerischen Verschiebung unterliegen kann⁷⁴, wurde in der weiteren Auswertung neben den absoluten h/d-Werten auch die *h/d-Veränderung* auf den Parzellen innerhalb der letzten 9 Jahre errechnet und verglichen. Anhand der einheitlichen Höhenkurve aus den Wuchsreihen sowie den Regressionsanalysen zum Zuwachs war es möglich, die h/d-Verhältnisse der Einzelbäume vor 9 Jahren zu modellieren. Abb. 4.25 zeigt links die errechneten Werte für die h/d-Veränderungen *aller* Fichten in Prozentpunkten, rechts nur für die Kraftschen Klassen 1 bis 3.

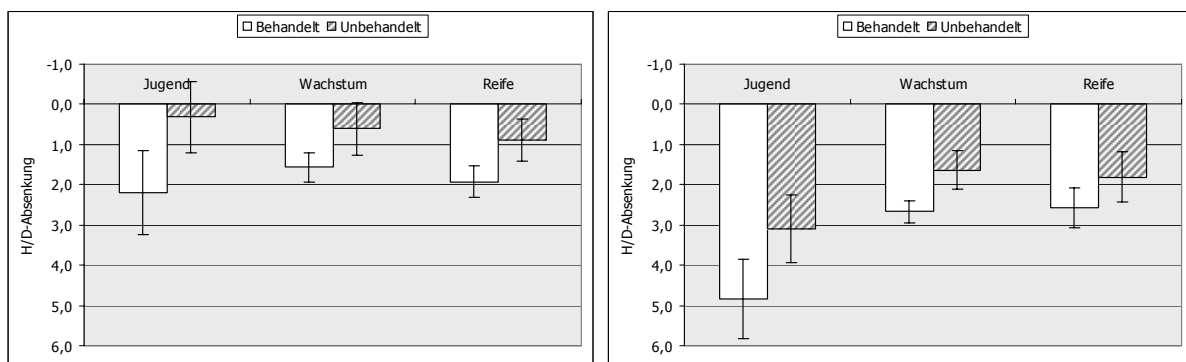


Abb. 4.25: Veränderung der Schlankheitsgrade innerhalb der letzten 9 Jahre. Links: Modellierung mit allen Fichten. Rechts: Nur Kraftsche Klassen 1 bis 3.

Die mittleren h/d-Verhältnisse von den Bäumen aller Kraftschen Klassen nehmen im unbehandelten Zustand erst mit zunehmendem Alter langsam ab. Die Jugendstadien enthalten sogar einige Flächen, in denen das mittlere h/d-Verhältnis noch steigt (vgl. Standardfehler).

⁷³ Bonitätsunterschiede zwischen den Flächenpaaren wurden nach Möglichkeit vermieden. (vgl. auch Diskussion in Kap. 4.4).

⁷⁴ Wenn im Rahmen der Behandlung überproportional viele Bäume mit hohen h/d-Verhältnissen entnommen werden, kann der mittlere h/d-Wert des Bestandes dadurch rechnerisch abnehmen, obwohl an den verbleibenden Bäumen keine Veränderung stattgefunden hat.

In den behandelten Flächen dagegen konnte das h/d-Verhältnis im Jugendstadium am stärksten gesenkt werden. Die Unterschiede zu den unbehandelten Flächen sind in diesem Stadium auch signifikant. Auch in den Wachstumsstadien sind sie noch signifikant, während sie in den Altersstadien nicht mehr statistisch nachgewiesen werden können (Tab. 4.26). Auch bei den Schlankheitsgraden der Bäume in den Kraftschen Klassen 1 bis 3 deutet sich die stärkste Reaktion auf die waldbaulichen Eingriffe in den Jugendstadien an. Die behandlungsbedingten Unterschiede sind wie beim Gesamtkollektiv nur in den ersten beiden Altersstufen statistisch abzusichern.

Abb. 4.26 erlaubt eine Betrachtung der laut Literaturstudie gültigen Weiser $BHD^2 \cdot Höhe$ (Biomasseindex) für die Wurfefestigkeit und BHD^3 für die Bruchfestigkeit. Beide Weiser zeigen sehr ähnliche Trends: In den ersten beiden Stadien sind aufgrund der Behandlungen nur geringfügig stabilere Werte zu verzeichnen, während sich in den Reifestadien deutliche, auch knapp signifikante Unterschiede ergeben. Wie beim h/d-Wert ist dieser Unterschied bei den 100 Stärksten Fichten⁷⁵ nicht mehr deutlich ausgeprägt und auch statistisch nicht nachweisbar.

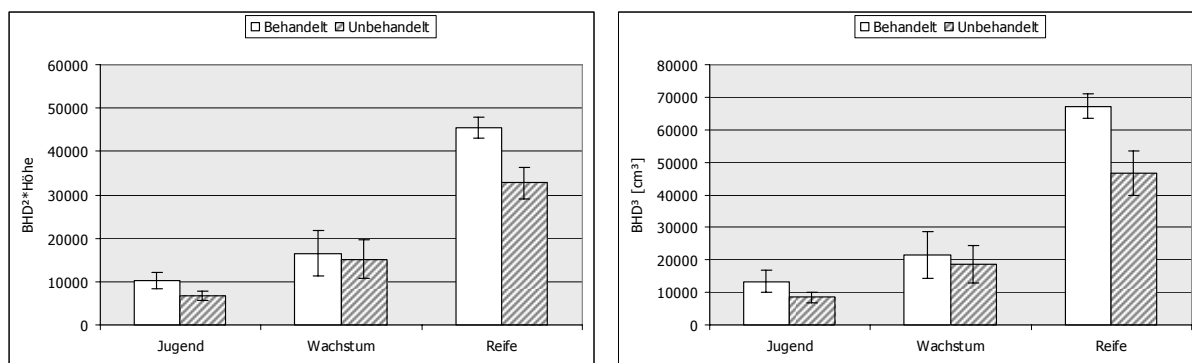


Abb. 4.26: Links: $BHD^2 \cdot Höhe$ als Weiser für die Wurfefestigkeit; rechts: BHD^3 als Weiser für die Bruchfestigkeit

⁷⁵ Hier nicht grafisch dargestellt.

Tab. 4.26: p-Werte der Varianzanalysen für die HD-Entwicklung in den vorangegangenen 9 Jahren und für die Weiser $BHD^2 \cdot \text{Höhe}$ und BHD^3

Variable	h/d-Differenz	h/d-Differenz Kraft 1-3	$BHD^2 \cdot \text{Höhe}$	$BHD^2 \cdot \text{Höhe}$ 100 Stärkste	BHD^3	BHD^3 100 Stärkste
Transformation	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.	LN(Y)
BL	0,0005	0,0071	0,1737	0,6479	0,3161	0,2341
BL: 1+2 vs 3	0,0008	0,0053	0,3015	0,9885	0,3631	0,4826
BL: 1 vs 2	0,0081	0,0826	0,1245	0,3636	0,2406	0,1238
ALT	0,9696	0,2767	0,0191	0,0026	0,0217	0,0010
ALT: 1+2 vs 3	0,8248	0,3699	0,0086	0,0011	0,0097	0,0004
ALT: 1 vs 2	0,9635	0,1669	0,2617	0,0911	0,3493	0,0204
BEH(ALT)	0,0089	0,0222	0,2219	0,7198	0,1819	0,8840
BEH(ALT1)	0,0065	0,0234	0,4983	0,7717	0,5878	0,6389
BEH(ALT2)	0,0345	0,0330	0,6758	0,8618	0,5962	0,8404
BEH(ALT3)	0,1311	0,1999	0,0589	0,2909	0,0438	0,5580

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)

ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)

BEH = Behandlung

BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.1.2.4 Kronenlängen und Bekronungsgrad

Abb. 4.27 zeigt links die Kronenlängen und rechts die daraus errechneten Bekronungsgrade für das Kollektiv der *Höhenmeßbäume*, während in Abb. 4.28 diese Werte modelliert für *alle Bäume* dargestellt sind. In beiden Kollektiven weisen die Bäume der behandelten Parzellen tendenziell längere Kronen und größere Bekronungsgrade auf als die der unbehandelten. Der Effekt der Eingriffe auf die Kronenlängen wird in den Reifestadien, wo bereits zwei Mal eingegriffen wurde, am deutlichsten. Ähnliches, wenn auch nicht so ausgeprägt, zeigt sich beim Bekronungsgrad. Für die modellierten Werte sind die Unterschiede in den Reifestadien signifikant (Kronenlängen) bzw. knapp über der Signifikanzgrenze (Bekronungsgrad) (Tab. 4.27). Ähnliche Resultate ergeben sich für die modellierten Werte bei den 100 stärksten Fichten.⁷⁶ Auch hier sind die deutlichsten Unterschiede in den Reifestadien zu finden.

Generell sind die Bekronungsgrade größer als bei Fichten im Flachland. Auch in den unbehandelten Parzellen wird ein Bekronungsprozent von 40% im Mittel nicht unterschritten. Es zeigt sich auch kein Rückgang der Bekronungsgrade mit zunehmendem Alter.

⁷⁶ Nicht grafisch dargestellt.

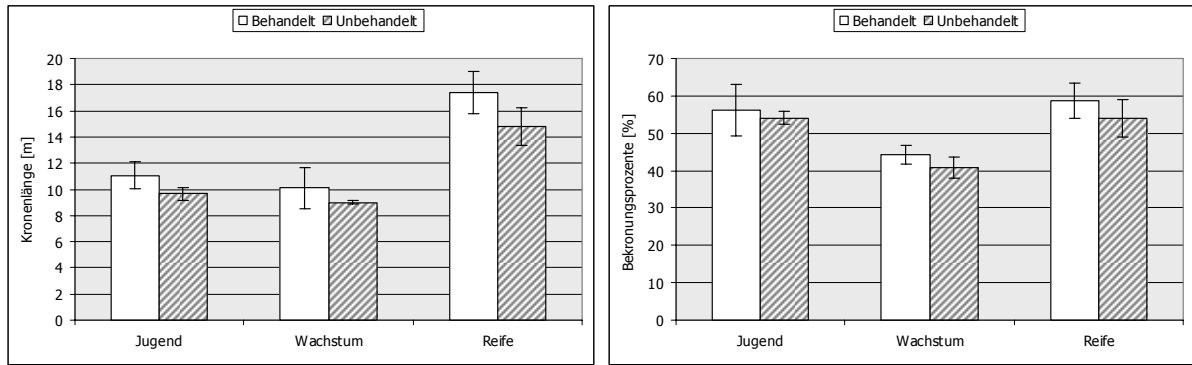


Abb. 4.27: Links Kronenlänge, rechts Bekronungsgrad der *Fichten des Höhenmesskollektives*

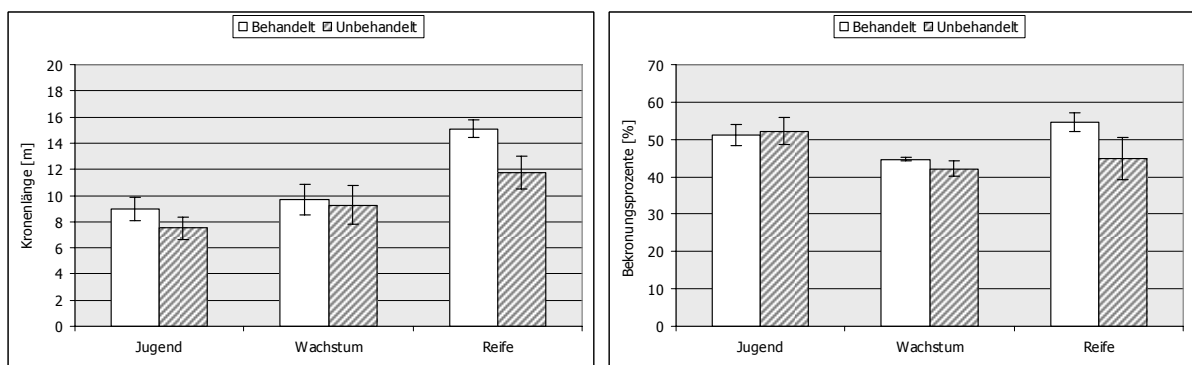


Abb. 4.28: Links Kronenlänge, rechts Bekronungsgrad *aller Fichten (modellerte Werte)*

Die visuelle Einteilung der Fichten in die drei Klassen „bis 25% bekront“, „25-50% bekront“ und „über 50% bekront“ ist zwar nicht so präzise wie die Messungen der Kronenansatzhöhen, hat aber den Vorteil, dass sie bei allen Fichten erhoben werden konnte. Die Ergebnisse bestätigen die gemessenen Werte: In allen drei Altersstufen gibt es nach Eingriffen weniger Bäume mit sehr kurzen Kronen (Abb. 4.29 links) und mehr Bäume mit langen Kronen (Abb. 4.29 rechts). Auch hier sind die Effekte in den Reifestadien am ausgeprägtesten (Tab. 4.27).

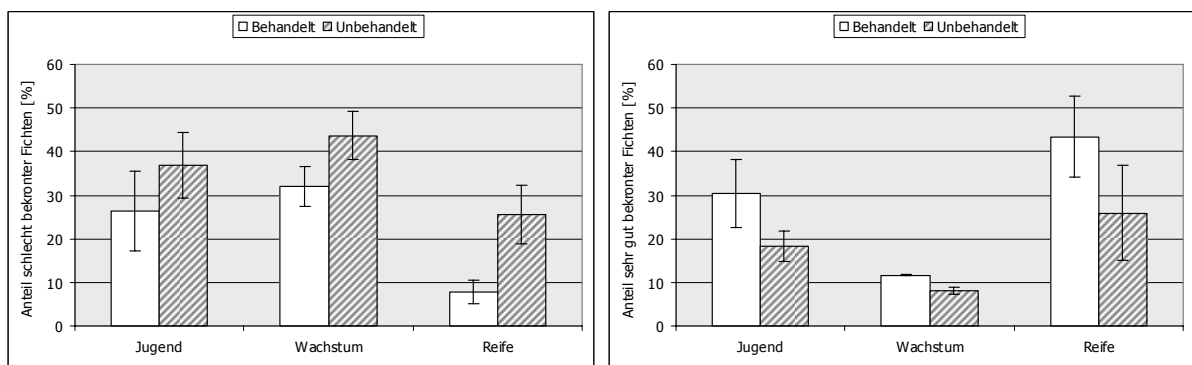


Abb. 4.29: Links: Anteil der Fichten mit einem Bekronungsgrad unter 25%, rechts: Anteil der Fichten mit einem Bekronungsgrad über 50% (okulare Ansprache aller Bäume)

Tab. 4.27: p-Werte der Varianzanalysen für Kronenlängen, Bekronungsgrade und visuelle Einteilung in Kronenklassen

Variable	Kronenlänge (Höhenmeßkollektiv)	Kronenprozent (Höhenmeßkollektiv)	Kronenlänge modellierte Werte	Kronenprozent modellierte Werte	Anteil m. Bekronung bis 25%	Anteil m. Bekronung über 50%
Transformation	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.
BL	0,0258	0,0150	0,0014	0,1000	0,0015	0,0757
BL: 1+2 vs 3	0,0087	0,0401	0,0144	0,0426	0,0011	0,0265
BL: 1 vs 2	0,6744	0,0211	0,0021	0,5912	0,0226	0,8576
ALT	0,0221	0,0248	0,0919	0,2031	0,2036	0,1181
ALT: 1+2 vs 3	0,0101	0,0384	0,0431	0,6530	0,1091	0,1026
ALT: 1 vs 2	0,5162	0,0245	0,4977	0,1054	0,5827	0,1588
BEH(ALT)	0,1830	0,4605	0,0545	0,2189	0,0128	0,1549
BEH(ALT1)	0,4628	0,6261	0,1219	0,7250	0,1260	0,1685
BEH(ALT2)	0,3857	0,3466	0,4786	0,3780	0,0276	0,6212
BEH(ALT3)	0,0598	0,2391	0,0220	0,0652	0,0143	0,0720

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)
 ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)
 BEH = Behandlung
 BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.1.2.5 Vitalität

Über alle drei Altersstufen hinweg haben die sehr vitalen Fichten einen deutlich höheren Anteil auf den behandelten Flächen (Abb. 4.30 links). Während auf den unbehandelten Parzellen nur etwa 20% der Fichten der Klasse „sehr vital“ zuzurechnen sind, sind es auf den behandelten Parzellen zwischen 27 und 37%. Umgekehrt liegt der Anteil der Fichten mit eingeschränkter Vitalität in den behandelten Parzellen deutlich niedriger als in den unbehandelten (Abb. 4.30 rechts). Sowohl bei den sehr vitalen als auch bei den mäßig vitalen Fichten sind die behandlungsmäßigen Unterschiede in den Reifestadien am größten.

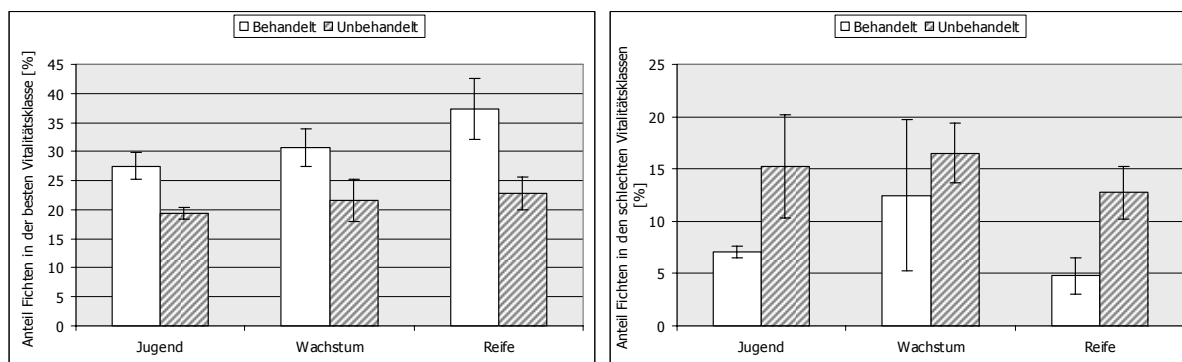


Abb. 4.30: Links: Prozentualer Anteil der Fichten in der besten Vitalitätsklasse 0. Rechts: Anteil der Fichten in den beiden Klassen 2 und 3 mit eingeschränkter Vitalität.

Anders als in der vorhergehenden Darstellung sind in Abb. 4.31 die absoluten Stückzahlen/ha dargestellt. Obwohl in den behandelten Parzellen die Gesamtbaumzahl deutlich geringer ist (vgl. Abb. 4.16), weisen diese Parzellen ähnlich viele Bäume der höchsten Vitalitätsstufe auf, wie die unbehandelten (Abb. 4.31 links). Lediglich in den Jugendstadien ist die Anzahl der Vitalen im Mittel etwas geringer, allerdings bei recht großer Streuung. Sofern also im Rahmen der Eingriffe auch Fichten der höchsten Vitalitätsstufe entnommen wurden, sind Bäume der darunter liegenden Klassen aufgestiegen und haben die Lücke geschlossen. Oder aber es wurden bei den Eingriffen zur Stabilisierung nur Fichten der mittleren und geringeren Vitalitäten entnommen. Auch dann kann man aber von einem zumindest passiven stabilisierenden Effekt sprechen: das verbleibende Kollektiv weist weniger Schwachstellen auf.

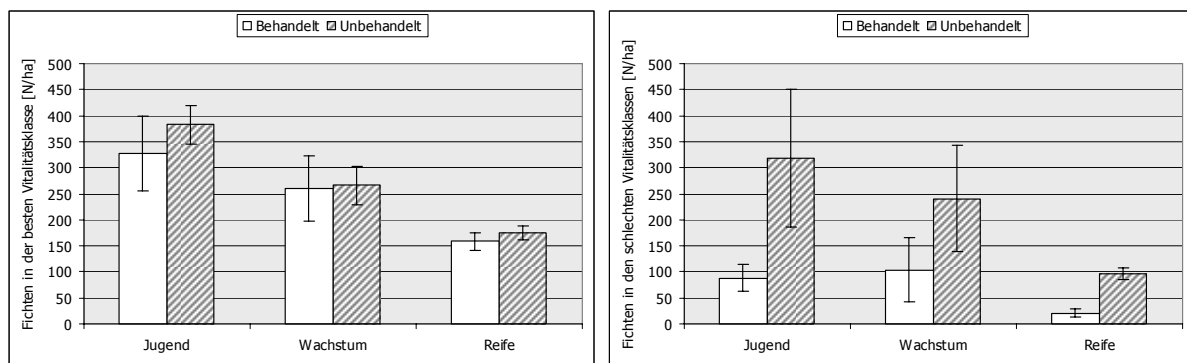


Abb. 4.31: Links: Absolute Anzahl der Fichten in der besten Vitalitätsklasse 0 (N/ha). Rechts: Zahl der Fichten in den beiden Klassen 2 und 3 mit eingeschränkter Vitalität.

Fichten mit eingeschränkter Vitalität kommen auch absolut gesehen in den behandelten Parzellen aller drei Stadien seltener vor (Abb. 4.31 rechts). Die Unterschiede sind signifikant bzw. in den Jugendstadien nur knapp über der Signifikanzgrenze (Tab. 4.28). Auch hier gibt es zwei mögliche Erklärungen: entweder wurden die weniger vitalen Fichten gezielt entnommen oder die Bäume haben von den Eingriffen in ihrer Vitalität profitiert und sind in die Klasse der mittleren Vitalität aufgestiegen.

Tab. 4.28: p-Werte der Varianzanalysen für prozentuale und absolute Häufigkeiten in den verschiedenen Vitalitätsstufen

Variable	%-Anteil Vitalität 0 (Beste)	%-Anteil Vitalität 1 (Normale)	%-Anteil Vitalität 2, 3 (Schlechte)	Vitalität 0 (Beste) N/ha	Vitalität 1 (Normale) N/ha	Vitalität 2, 3 (Schlechte) N/ha
Transformation	untransf.	untransf.	LN(Y)	untransf.	1/Y	LN(Y)
BL	0,9332	0,6472	0,6654	0,0018	0,4623	0,1904
BL: 1+2 vs 3	0,8949	0,3649	0,4066	0,0029	0,2471	0,0793
BL: 1 vs 2	0,7307	0,9670	0,7291	0,0139	0,7445	0,8124
ALT	0,7852	0,4926	0,6595	0,0031	0,2676	0,4851
ALT: 1+2 vs 3	0,5541	0,9316	0,4547	0,0022	0,1532	0,2671
ALT: 1 vs 2	0,7630	0,2712	0,7017	0,0064	0,4378	0,8639
BEH(ALT)	0,0182	0,5910	0,1167	0,7888	0,0441	0,0181
BEH(ALT1)	0,1652	0,8398	0,1558	0,3641	0,4116	0,0577
BEH(ALT2)	0,0156	0,2380	0,1799	0,9968	0,0773	0,0370
BEH(ALT3)	0,0412	0,5492	0,1063	0,7054	0,0238	0,0365

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)

ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)

BEH = Behandlung

BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.1.2.6 Schäden

Zumindest in den Wachstums- und Reifestadien sind die Anteile der geschälten Bäume auf den behandelten Parzellen im Mittel um 17 Prozentpunkte geringer (Abb. 4.32 links). Diese Unterschiede lassen sich aber wegen der hohen Streuung statistisch nicht absichern (Tab. 4.29). Grund für die außergewöhnlich hohe Streuung sind Unterschiede zwischen den Blöcken: In Ruhpolding sind die Schältschäden generell deutlich geringer als an den anderen beiden Orten.

Schneebruch traf behandelte und unbehandelte Flächen nahezu gleich (Abb. 4.32 rechts). Im gesamten Tölzer Revier gab es im Jahr 2000 einen schweren Schneebruch, während die anderen beiden Orte eher gering betroffen waren. Daher auch hier eine sehr hohe Gesamtstreuung. Selbst wenn man aber die Tölzer Parzellen separat betrachtet,⁷⁷ zeigen sich keine Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen. Das Schneebruchereignis trat zu früh nach den Eingriffen ein (2 Jahre). In diesem kurzen Zeitraum konnte noch keine Reaktion der Bestände stattfinden. Möglicherweise waren die Eingriffe auch zu spät erfolgt, um eine nennenswerte Erhöhung der Resistenz gegenüber Schneebruch zu erzeugen.

⁷⁷ Siehe Anhang.

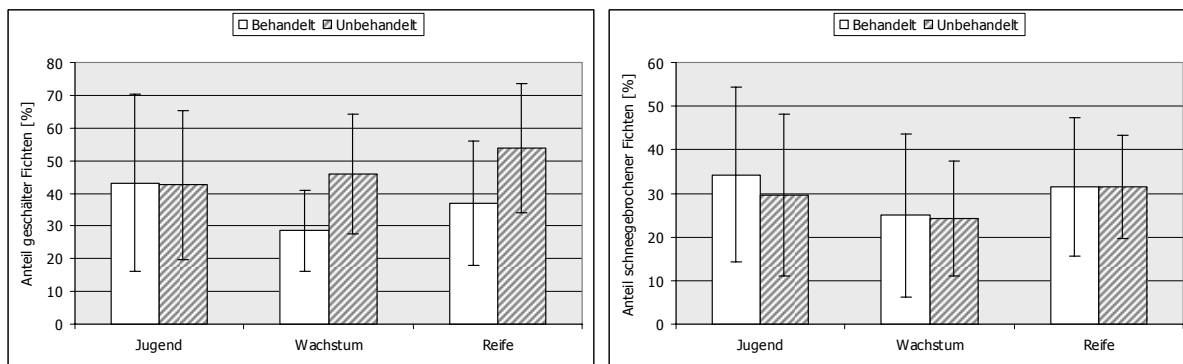


Abb. 4.32: Links: Prozentualer Anteil der Fichten mit Schälsschäden. Rechts: Prozentualer Anteil der schneegebrochenen Fichten.

Tab. 4.29: p-Werte der Varianzanalysen für die Anteile an geschälten und gebrochenen Fichten

Variable	Anteil geschälter Fichten	Anteil gebrochener Fichten
Transformation	LN(Y)	untransformiert
BL	0,0004	<0,0001
BL: 1+2 vs 3	0,0118	<0,0001
BL: 1 vs 2	0,0005	0,5773
ALT	0,4488	0,0173
ALT: 1+2 vs 3	0,2678	0,0459
ALT: 1 vs 2	0,5865	0,0128
BEH(ALT)	0,4421	0,9386
BEH(ALT1)	0,2651	0,5566
BEH(ALT2)	0,4099	0,8759
BEH(ALT3)	0,3927	0,9742

BL = Block
 ALT = Alter
 BEH = Behandlung
 BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.1.2.7 Strukturbeschreibende Parameter

Hinsichtlich der horizontalen Verteilung können keine nennenswerten Veränderungen durch die Eingriffe festgestellt werden. Die mittleren Aggregationsindizes sowohl der behandelten als auch der unbehandelten Flächen liegen mehr oder weniger deutlich über 1,0, was auf regelmäßige Verteilungen hindeutet (Abb. 4.33 links). Von allen 18 Parzellen weisen nur zwei behandelte Flächen in Ruhpolding (Jugend- und Wachstumsstadium) Werte unter 1,0 auf,⁷⁸

⁷⁸ Werte im Anhang.

was auf die gruppendurchforstungsartigen Eingriffe des dortigen Revierförsters zurückzuführen ist.

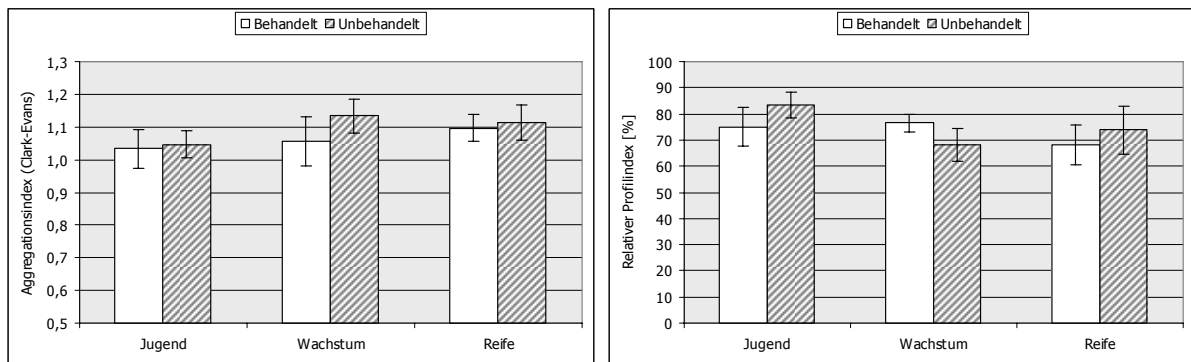


Abb. 4.33: Strukturparameter: Links: Mittlere Aggregationsindizes nach CLARK und EVANS (1954). Rechts: Relative Profilindizes

Die relativen Profilindizes (Abb. 4.33 rechts) zur Beurteilung der Stufigkeit der Bestände zeigen keine eindeutigen Tendenzen. Es gibt Bereiche, in denen die behandelten Flächen stärker vertikal strukturiert sind als die unbehandelten, aber auch Bereiche, bei denen die Situation umgekehrt ist. Es kann also weder bestätigt werden, dass die Eingriffe die vertikale Verteilung verbessern, noch dass sie homogenisierend wirken. Mit mittleren relativen Profilindizes zwischen 68 und 83% sind die Fichtenbestände aber generell relativ stark vertikal differenziert.

Auch bei den T-Werten zur Durchmesserdifferenzierung⁷⁹ ergeben sich keine Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Fichtenbeständen (Tab. 4.30). Abb. 4.34 zeigt beispielhaft die Werte für T_1 und T_2 . Dabei wird allerdings deutlich, dass die Bestände gemessen an den von PRETZSCH (2002) genannten Richtwerten (ca. 0,23 für Fichtenreinbestände) eine sehr hohe Durchmesserdifferenzierung aufweisen. Die Werte sind nahe an denen, die PRETZSCH für zweischichtige Bestände aus Fichte und Buche angibt (ca. 0,32).

⁷⁹T-Werte nach FÜLDNER (1995). \bar{T}_1 ist der mittlere T_1 -Wert für die Durchmesserdifferenzierung zwischen Zentralbaum und dem jeweils ersten Nachbarn, welcher nach folgender Formel berechnet wird (vgl. Abschnitt „Strukturbeschreibende Größen“ im Kap. 4.2.2.3.).

$$T_1 = 1 - \frac{\min(BHD_i, BHD_j)}{\max(BHD_i, BHD_j)}$$

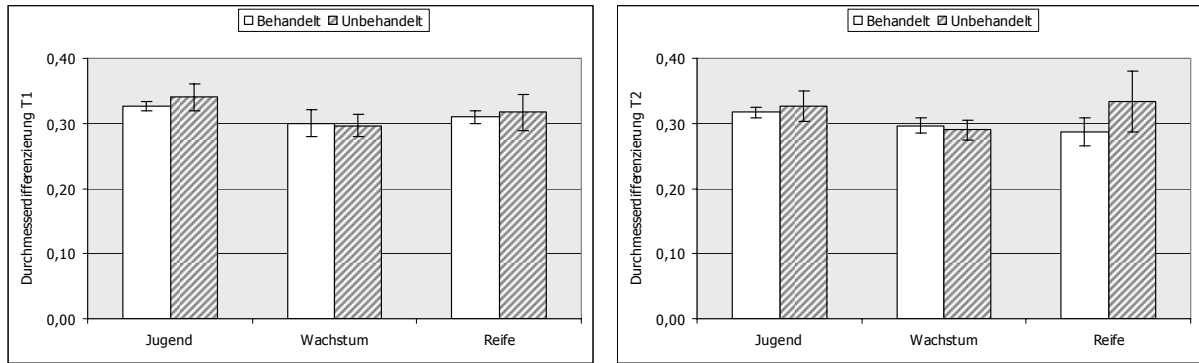


Abb. 4.34: T-Werte zur Beschreibung der Durchmesserdifferenzierung. Links T₁, rechts T₂.

Tab. 4.30: p-Werte der Varianzanalysen für die strukturbeschreibenden Variablen

Variable	Aggregationsindex	Profilindex	Relativer Profilindex	Durchmesserdifferenzierung T ₁	Durchmesserdifferenzierung T ₂	Durchmesserdifferenzierung T ₃
Transformation	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.	untransf.
BL	0,2656	0,2857	0,3007	0,7536	0,7918	0,8424
BL: 1+2 vs 3	0,2172	0,8422	0,8551	0,4845	0,5604	0,7128
BL: 1 vs 2	0,2806	0,1248	0,1326	0,8471	0,7638	0,6736
ALT	0,2460	0,3692	0,3784	0,0414	0,1904	0,1656
ALT: 1+2 vs 3	0,2748	0,3619	0,3771	0,6397	0,8660	0,5896
ALT: 1 vs 2	0,1891	0,2859	0,2875	0,0183	0,0907	0,0859
BEH(ALT)	0,7686	0,5720	0,5813	0,9066	0,8064	0,7585
BEH(ALT1)	0,8613	0,3722	0,3825	0,5702	0,7732	0,5355
BEH(ALT2)	0,3270	0,3722	0,3803	0,6663	0,7574	0,3994
BEH(ALT3)	0,8272	0,5615	0,5523	0,9686	0,3950	0,9816

- BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)
- ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)
- BEH = Behandlung
- BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

Zusammenfassend kann man für den Bereich der Struktur sagen, dass die Eingriffe hier keine nennenswerten Effekte erzeugt haben. Grundsätzlich weisen die Fichtenbestände in der Bergmischwaldstufe aber deutlich differenziertere Strukturen auf als Fichtenbestände im Flachland.

4.3.2 Charakterisierung der Verjüngungssituation (Elastizität)

4.3.2.1 Auswirkungen der waldbaulichen Maßnahmen auf Verjüngungsparameter

4.3.2.1.1 Dichte

Die Dichten der Verjüngung sind wie erwartet in den behandelten Parzellen höher als in den unbehandelten (Abb. 4.35). Im Kollektiv der Pflanzen unter 20 cm finden sich aber in den unbehandelten Parzellen einige kleine Pflänzchen, weshalb die behandlungsbedingten Unterschiede hier nicht statistisch absicherbar sind. Die Lichtverhältnisse reichen aber nicht aus, dass sich die Pflanzen weiter entwickeln können. Deshalb fallen die Unterschiede im Kollektiv der Pflanzen ab 20 cm wesentlich klarer aus. Auf vielen unbehandelten Parzellen wurden überhaupt keine Pflanzen größer 20 cm vorgefunden.

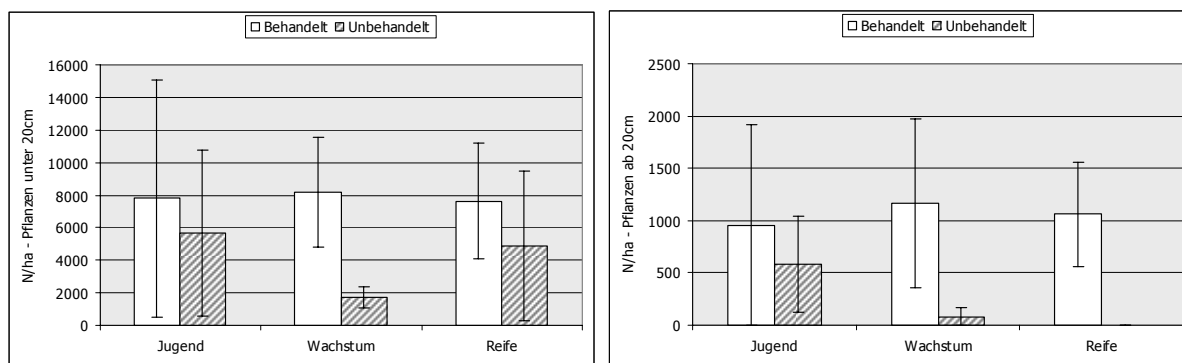


Abb. 4.35: Mittlere Anzahlen pro Hektar in der Verjüngung. Links: Pflanzen unter 20 cm Höhe. Rechts: Pflanzen ab 20 cm.

Der etwas höhere Dichtewert von Pflanzen ab 20 cm in den unbehandelten Jugendstadien ist stark von der Parzelle in Ruhpolding beeinflusst. Diese ist etwas näher am Bestandesrand gelegen, sodass sich aufgrund des Seitenlichts einige Bergahorne über 20 cm etablieren konnten.

4.3.2.1.2 Höhe

Auch die mittlere Höhe der Pflanzen ist tendenziell in den behandelten Parzellen größer. Im Bereich unter 20 cm (Abb. 4.36 links) sind die Unterschiede allerdings noch nicht besonders ausgeprägt. Für das Kollektiv der Pflanzen ab 20 cm sind die mittleren Höhen nicht statistisch auswertbar, da einige Parzellen keine Pflanzen über 20 cm aufweisen. Bei der statistischen Auswertung ist die mittlere Höhe auf diesen Parzellen nicht null, sondern ein fehlender Wert („missing value“). Ein weiteres Problem ergibt sich durch unbehandelte Parzellen, auf denen einzelne sehr große Pflanzen stehen wenn seltene Lücken auftreten. Ein aus diesen

Pflanzen berechneter Mittelwert ist nicht repräsentativ für die Verjüngungssituation der gesamten Parzelle. Der Wert in den unbehandelten Wachstumsstadien errechnet sich zum Beispiel aus vereinzelt Pflanzen in Oberammergau, während es in Ruhpolding und Tölz keine Pflanzen ab 20 cm gibt. Das Bild in Abb. 4.36 rechts täuscht also. Der summarische Biomasseindex im folgenden Abschnitt kombiniert Dichte und Höhe der Pflanzen und relativiert das irreführende Bild.

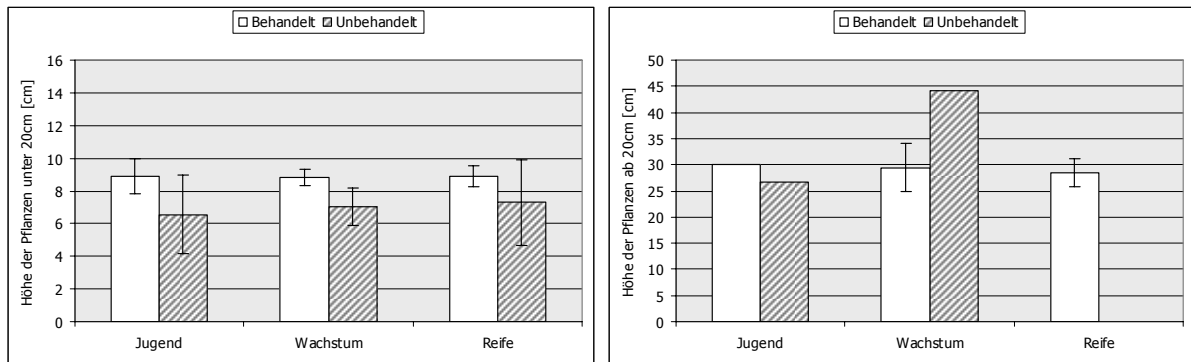


Abb. 4.36: Mittlere Höhen der Verjüngung. Links: Pflanzen unter 20 cm Höhe. Rechts: Pflanzen ab 20 cm. Werte bei Pflanzen ab 20 cm zum Teil nicht repräsentativ (siehe Text).

Die Betrachtung des Gesamtkollektives aller Pflanzen erlaubt schließlich eine statistische Auswertung, in welche die Pflanzen über 20 cm Höhe zumindest anteilig mit eingehen (Abb. 4.37). In den Wachstums- und Reifestadien ergeben sich auf den behandelten Parzellen signifikant größere mittlere Höhen (Tab. 4.31).

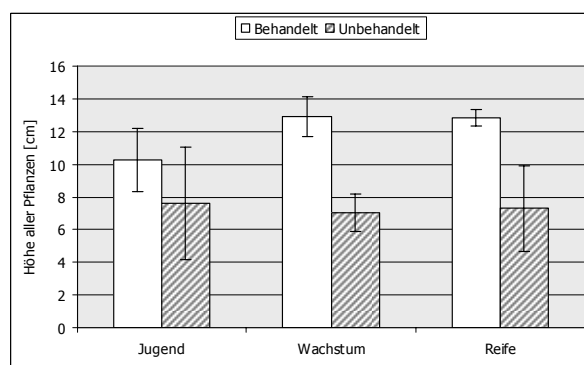


Abb. 4.37: Mittlere Höhen der Verjüngung. Alle Pflanzen.

Tab. 4.31: p-Werte der Varianzanalysen für die Verjüngung: Anzahl und mittlere Höhen

Variable	Anzahl/ha Pflanzen unter 20 cm	Anzahl/ha Pflanzen ab 20 cm	Mittlere Höhe Pflanzen unter 20 cm	Mittlere Höhe alle Pflanzen
Transformation	LN (Y)	Wurzel (Y+0,5)	untransf.	untransf.
BL	0,0199	0,0211	0,6978	0,0684
BL: 1+2 vs 3	0,0210	0,0334	0,4496	0,2831
BL: 1 vs 2	0,0621	0,0402	0,7347	0,0372
ALT	0,8008	0,9940	0,1575	0,6425
ALT: 1+2 vs 3	0,9017	0,9250	0,1120	0,4266
ALT: 1 vs 2	0,5460	0,9709	0,3062	0,7828
BEH(ALT)	0,3723	0,0346	0,2168	0,0004
BEH(ALT1)	0,9315	0,9795	0,2062	0,7418
BEH(ALT2)	0,2048	0,0570	0,3717	0,0086
BEH(ALT3)	0,2299	0,0167	0,1437	0,0001

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)
 ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)
 BEH = Behandlung
 BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.2.1.3 Biomasse

Für die Biomasse wurde ein Index aus $Wurzelhalsdurchmesser^2 \cdot Höhe$ in Litern errechnet. Diese summarische Betrachtung ermöglicht es, im Gegensatz zur Höhengauswertung, auch Parzellen ohne Pflanzen in die statistische Auswertung einzubeziehen.⁸⁰ Abb. 4.38 und Tab. 4.32 bestätigen im Wesentlichen die Erkenntnisse aus Dichte und Höhe der Verjüngungspflanzen. Im Bereich unter 20 cm ergeben sich zwar schon Unterschiede, aber es ist auch in den unbehandelten Flächen ein gewisser Grundstock an Pflanzen vorhanden. Eine Entwicklung über 20 cm hinaus findet dagegen auf den unbehandelten Flächen bis auf wenige Ausnahmen nicht statt.

⁸⁰ Parzellen ohne Pflanzen gehen bei der Dichte und bei der Biomasse mit dem Wert „0“ in die Berechnungen ein. Bei den Höhengauswertungen müssen diese Parzellen aber als „fehlende Werte“ definiert werden. Die Annahme von Pflanzen mit einem fiktiven Höhenmittelwert von null ist nicht zulässig.

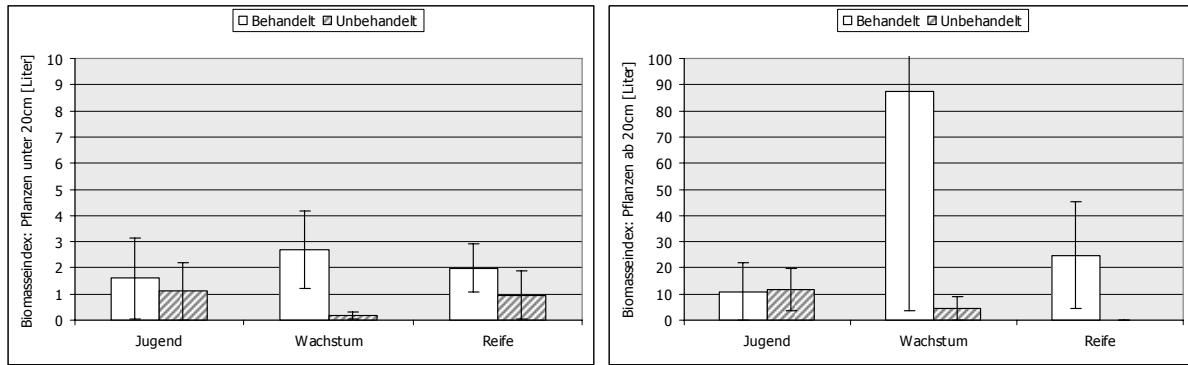


Abb. 4.38: Biomasseindex der Verjüngung. Links: Pflanzen unter 20 cm. Rechts: Pflanzen ab 20 cm.

Tab. 4.32: p-Werte der Varianzanalysen für die Verjüngung: Biomasseindex und Vitalität

Variable	Summe Biomasseindex Pflanzen unter 20 cm	Summe Biomasseindex Pflanzen ab 20 cm	Anteil wenig vitaler Pflanzen
Transformation	untransf.	LN(Y)	untransf.
BL	0,0025	0,1899	0,0161
BL: 1+2 vs 3	0,0067	0,0776	0,0132
BL: 1 vs 2	0,0068	0,7905	0,0818
ALT	0,9934	0,9331	0,7983
ALT: 1+2 vs 3	0,9356	0,8416	0,6259
ALT: 1 vs 2	0,9455	0,7787	0,6478
BEH(ALT)	0,0985	0,0240	0,0020
BEH(ALT1)	0,6175	0,3445	0,0049
BEH(ALT2)	0,0260	0,0657	0,0030
BEH(ALT3)	0,3061	0,0118	0,1408

BL = Block (1=Ruhpolding, 2=Oberammergau, 3=Tölz)
 ALT = Alter (1=Jugend-, 2=Wachstums-, 3=Reifestadium)
 BEH = Behandlung
 BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.3.2.1.4 Baumartenzusammensetzung

Zur detaillierten Beurteilung der Baumartenzusammensetzung ist die Verjüngung in Abb. 4.39 (Pflanzen unter 20 cm) und Abb. 4.40 (Pflanzen ab 20 cm) parzellenweise dargestellt.

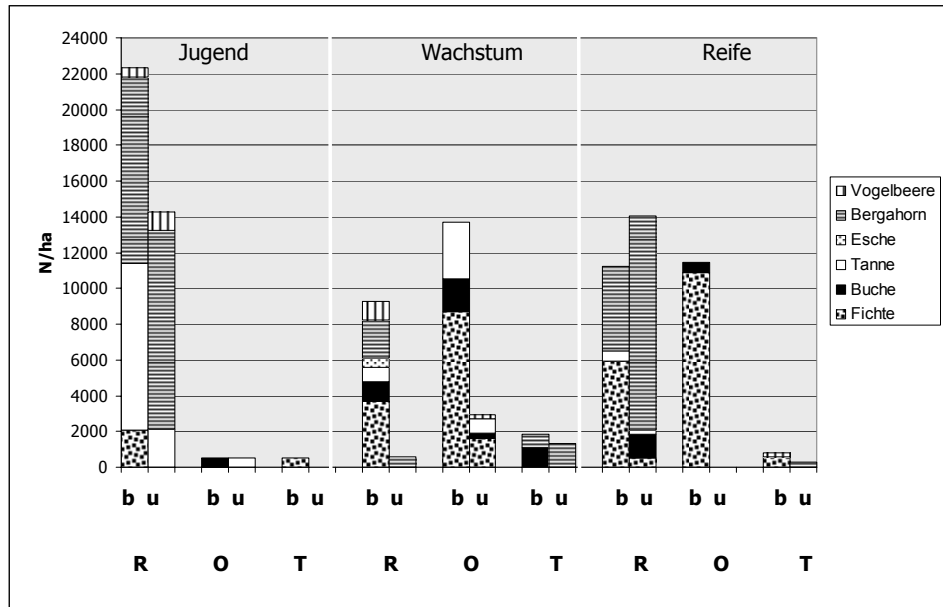


Abb. 4.39: Zusammensetzung der Verjüngung unter 20 cm Höhe. Innerhalb der Wachstumsstadien sind die Orte mit ihren Anfangsbuchstaben gekennzeichnet (R=Ruhpolding, O=Oberammergau, T=Tölz). Die jeweils linke Säule steht für die behandelte, die rechte für die unbehandelte Parzelle.

Die wenigen Mischbaumarten im Altbestand sorgen für ein unerwartet gemischtes Verjüngungspotenzial. Buche und Tanne sind dort vertreten, wo Altbäume direkt in den Parzellen oder in näherer Umgebung stehen. Hier finden sich zum Teil über 3000 Tannen/ha in der Verjüngung. Bergahornsamen werden etwas weiter transportiert. Diese Baumart ist auch in manchen unbehandelten Parzellen latent vorhanden. Mit Ausnahme der Flächen in Ruhpolding ist in den Jugendstadien kaum Verjüngung zu finden. Generell ist die Verjüngungssituation in Ruhpolding am günstigsten, in Bad Tölz am ungünstigsten einzuschätzen.

Die Dichte der Pflanzen ab 20 cm ist deutlich geringer als die der kleineren Pflanzen, unterschreitet aber ab dem Wachstumsstadium in fast keiner behandelten Parzelle die Zahl 500 Stück/ha. Die in der Literatur genannten Verjüngungssollzahlen von mindestens 2500 Stück/ha bzw. 1000 Stück/ha (SCHODTERER 1998, FREHNER et al. 2005) werden allerdings nur in Ruhpolding erreicht. Der Mischbaumartenanteil ist im Kollektiv der größeren Pflanzen generell noch etwas höher als im Kollektiv der Pflanzen unter 20 cm.

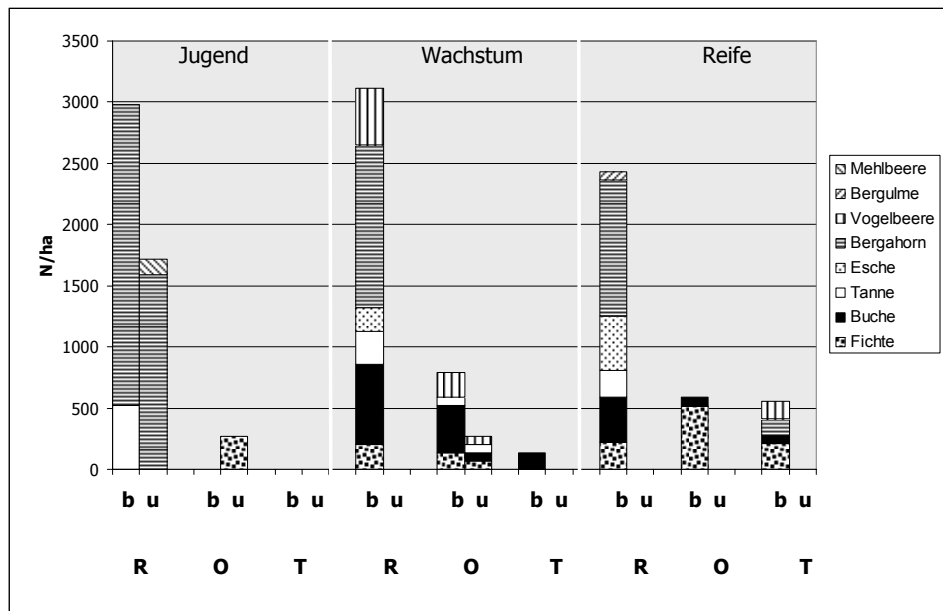


Abb. 4.40: Zusammensetzung der Verjüngung ab 20 cm Höhe (R=Ruhpolding, O=Oberammergau, T=Tölz). Die jeweils linke Säule steht für die behandelte, die rechte für die unbehandelte Parzelle. Wo nur eine Säule zu sehen ist, ist die unbehandelte Parzelle unbesetzt. Ausnahme: Das Jugendstadium in Oberammergau. Hier ist die behandelte Parzelle unbesetzt.

4.3.2.1.5 Vitalität und Schäden

Angaben zur Vitalität der Pflanzen lassen sich nur in begrenztem Umfang machen, da die Datenbasis hier sehr gering ist. Immerhin finden sich in den Jugend- und Wachstumsstadien der unbehandelten Parzellen signifikant höhere Anteile an Pflanzen mit eingeschränkter Vitalität (Tab. 4.32, vorstehend, keine Abbildung). In den Reifestadien lässt sich dies nicht nachweisen, da hier in einigen Parzellen keine Pflanzen vorhanden sind. Insgesamt kann man aber feststellen, dass auf den unbehandelten Parzellen nicht nur deutlich weniger und kleinere Pflanzen zu finden sind: die vorhandenen Pflanzen sind auch in vielen Fällen kümmerlich.

Neben einigen wenigen biotischen Schäden treten an den Pflanzen häufig Verbisschäden auf. Dabei wäre vor allem der Verbiss an den über 20 cm großen Pflanzen von Interesse, da die Verbisschäden mit zunehmender Höhe der Pflanzen ansteigen, wie MOSANDL (1991) beschreibt. Allerdings lassen sich in diesem Punkt aufgrund der schmalen Datenbasis keine belastbaren Verbissprozente ermitteln.

Tendenziell ist jedoch der Verbiss in Oberammergau und in Bad Tölz höher als in Ruhpolding. An diesen beiden Orten fanden sich in der Umgebung der Versuchspartellen auch deutliche Hinweise auf Rotwild, während dies in Ruhpolding nicht der Fall war.

4.3.2.2 Beurteilung der Elastizität anhand von Info-Gap-Analyse und Sharpe-Ratio

In die Berechnungen der Robustheiten und der „Sharpe-Ratio“ gingen nur Parzellen ein, auf denen üblicherweise mit Verjüngungsansätzen zu rechnen ist. Dies sind Wachstums- und Reifestadien.

Zunächst ging die Gesamtpflanzenzahl (kleiner und größer 20 cm) in die Kalkulationen ein. Berechnet man die Robustheit der Pflanzendichten für dieses Kollektiv, wird der Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen sehr deutlich. Bei einem Mindestwert von 1000 Pflanzen/ha und einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,1 ergibt sich auf den unbehandelten Parzellen eine Robustheit von 0. Dieses Ergebnis verwundert nicht, wenn man die kumulierte Häufigkeitsverteilung der Pflanzendichten in Abb. 4.41 betrachtet. Hier liegt die Wahrscheinlichkeit, weniger als 1000 Pflanzen anzutreffen, bei über 0,30. Selbst die Wahrscheinlichkeit, überhaupt keine Pflanze vorzufinden liegt noch bei über 0,25. Die Verteilungskurve für die behandelten Parzellen liegt deutlich weiter rechts, was auf generell höhere Pflanzendichten hindeutet. Allerdings ist die erzielte Robustheit mit 0,18 nicht sehr groß (Tab. 4.33). Demnach führt schon ein Fehler von 18% in der Schätzung der Unterschreitungswahrscheinlichkeit (= Wahrscheinlichkeit, mit der die geforderte Mindestpflanzendichte nicht erreicht wird) dazu, dass für die akzeptierte Fehlerwahrscheinlichkeit nicht mehr mit einer Mindestzahl von 1000 Pflanzen/ha gerechnet werden kann.

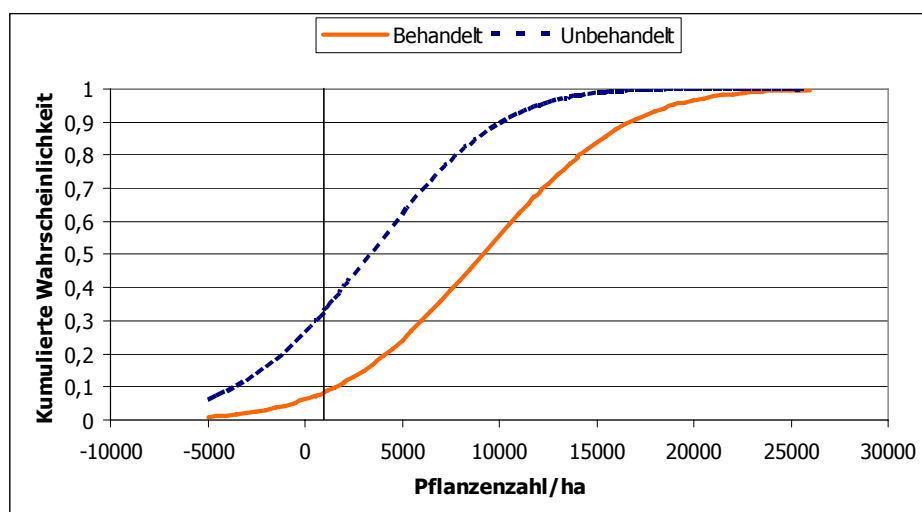


Abb. 4.41: Kumulierte Häufigkeitsverteilungen der Optionen „Behandelt“ und „Unbehandelt“. Die senkrechte Linie bezeichnet die 1000-Pflanzen/ha-Marke.

Abb. 4.42 macht noch deutlicher, dass sich die Robustheit der Pflanzendichten auch auf den behandelten Parzellen in einem engen Rahmen bewegt. Selbst bei einer Reduktion der Verjüngungssollzahl auf 1 Pflanze/ha erreicht die Robustheit nur einen Wert von 0,63. Erhöht man dagegen die Verjüngungssollzahl schrittweise, so sinkt die Robustheit bei ca. 1600 Pflanzen/ha auf 0. Für den oberen Rahmen der in der Literatur genannten Verjüngungssollzahlen von 2500 Pflanzen/ha ergibt sich demnach auch auf den behandelten Parzellen keine Robustheit.

Für das Kollektiv der Pflanzen ab 20 cm ergibt sich sowohl auf den unbehandelten als auch auf den behandelten Parzellen keine Robustheit der Pflanzendichte (Tab. 4.33).

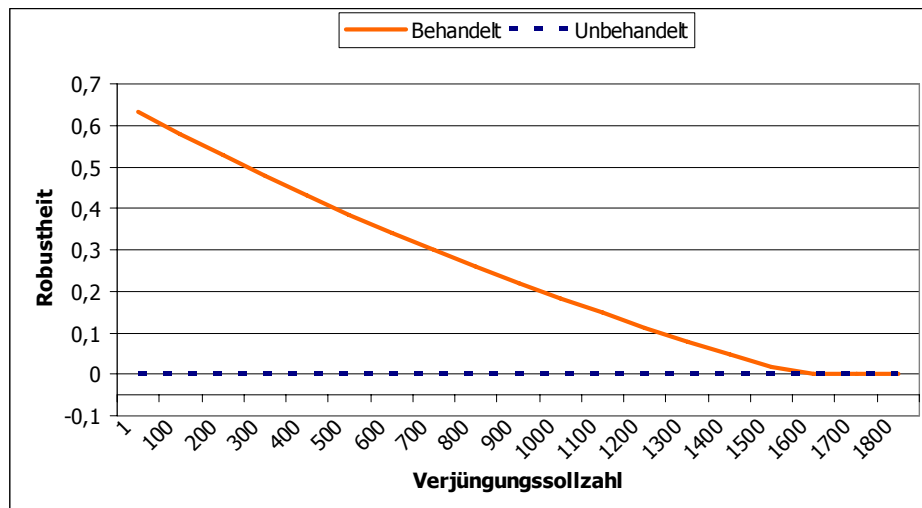


Abb. 4.42: Robustheiten der Optionen „Behandelt“ und „Unbehandelt“ bei verschiedenen Verjüngungssollzahlen.

Nachdem die Sharpe-Ratio kein so hohes Sicherheitsäquivalent beinhaltet wie die Robustheit, ergeben sich hier auch für kleinere Pflanzenzahlen noch positive Werte. So ergibt sich für die Pflanzen ab 20 cm auf den behandelten Parzellen noch eine geringe Sharpe-Ratio von 0,2. Erst wenn der Mittelwert schon unter dem geforderten Mindestwert liegt, sinkt die Sharpe-Ratio auf null. Dies ist bei den unbehandelten Parzellen im Kollektiv der größeren Pflanzen der Fall. Damit wird auch für dieses Kollektiv die bessere Situation auf den behandelten Parzellen augenfällig.

Tab. 4.33: Werte für Robustheit und Sharpe Ratio beider Pflanzenkollektive

Kollektiv	Behandlung	c	v^*	\bar{v}	s_v	z	\tilde{p}_f	$h(v^*, c)$	$s(v^*, s_v)$
Alle Pflanzen	Behandelt	0,1	1000	9147	5924	-1,3753	0,085	0,183	1,375
	Unbehandelt	0,1	1000	3336	5344	-0,4372	0,331	0,000	0,437
Pflanzen ab 20 cm	Behandelt	0,1	1000	1237	1141	-0,2076	0,418	0,000	0,208
	Unbehandelt	0,1	1000	45	110	8,71365	1,000	0,000	0,000

- c Tolerierte Fehlerwahrscheinlichkeit
 v^* Verjüngungssollwert
 \bar{v} Mittelwert
 s_v Standardabweichung
 z Normalisierte maximale Pflanzenreduktion $\frac{\bar{v} - v^*}{s_v}$
 \tilde{p}_f Geschätzte Wahrscheinlichkeit für ein Verjüngungsergebnis unter dem Verjüngungssollwert
 $h(v^*, c)$ Robustheit
 $s(v^*, s_v)$ Sharpe Ratio

4.3.3 Gemeinsame Charakterisierung von Altbestand und Verjüngung

4.3.3.1 Multivariate Varianzanalysen zu Resistenz, Elastizität und Gesamtstabilität

Neben den univariaten Varianzanalysen zur Beurteilung einzelner Parameter wurden auch die übergreifenden Kategorien Resistenz, Elastizität und Stabilität (gemeinsame Betrachtung von Resistenz und Elastizität) in multivariaten Varianzanalysen untersucht. Die Modelle umfassten folgende Variablen:

- Resistenz
 - Einzelbaumbezogene Kriterien:
 - Mittleres h/d-Verhältnis (modelliert für alle Fichten)
 - Mittleres Kronenprozent
 - Anteil der sehr vitalen Fichten
 - Anteil der gering vitalen Fichten
 - Anteil der Fichten mit kurzer Krone (bis 25%)
 - Anteil der Fichten mit langer Krone (50% +)
 - Strukturkriterien:
 - Aggregationsindex
 - Relativer Profilindex
 - Durchmesserdifferenzierung: T1

- Elastizität
 - Mittlere Höhe der Verjüngungspflanzen
 - Dichte der Pflanzen bis 20 cm
 - Dichte der Pflanzen ab 20 cm
 - Anteil der kümmerlichen Pflanzen
 - Summe der Biomasse bis 20 cm
 - Summe der Biomasse ab 20 cm (logarithmiert)
 - Artenzahl bis 20 cm
 - Artenzahl ab 20 cm

- Stabilität
 - Altbestandsvariablen
 - Mittleres h/d-Verhältnis (modelliert für alle Fichten)
 - Mittleres Kronenprozent
 - Anteil der sehr vitalen Fichten
 - Anteil der Fichten mit langer Krone (50% +)
 - Verjüngungsvariablen
 - Mittlere Höhe der Verjüngungspflanzen
 - Dichte der Pflanzen ab 20 cm
 - Anteil der kümmerlichen Pflanzen
 - Summe der Biomasse ab 20 cm (logarithmiert)

Generell gingen die Werte untransformiert in die Analysen ein, mit Ausnahme der Variable „Biomasse der Pflanzen ab 20 cm“, welche bei der univariaten Analyse bereits eine sehr deutliche Notwendigkeit zur Transformation zeigte. Tab. 4.34 beinhaltet die zugehörigen Ergebnisse aus den Varianzanalysen. Die Resultate spiegeln großteils die Erkenntnisse aus den univariaten Analysen wider. Im Bereich der Resistenz der Einzelbäume zeigt sich ein Effekt der waldbaulichen Eingriffe andeutungsweise erst ab dem Reifestadium. Hinsichtlich der Struktur können generell keine Unterschiede nachgewiesen werden. Unterschiede in der Elastizität zeigen sich in den Wachstums- und Reifestadien. In der übergreifenden Kategorie zur Stabilität sind keine signifikanten Behandlungseffekte nachweisbar. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die Modelle gerade im Bereich der Verjüngung und damit auch bei der Stabilität insgesamt sehr wenig robust sind. Geringfügige Veränderungen in der Variablenkombination führen hier zu deutlich veränderten Ergebnissen. Zur Interpretation der Gesamtsituation sollten also besser die univariaten Analysen in einer Zusammenschau betrachtet und sinnvoll gewichtet werden.

Tab. 4.34: p-Werte der multivariaten Varianzanalysen. Die Kontraste für die Altersstufen konnten z.T. aufgrund mangelnder Freiheitsgrade nicht berechnet werden.

Variable	Resistenz: Einzelbaum- kriterien	Resistenz: Struktur- kriterien	Elastizität	Stabilität insgesamt
Transformation				
BL	0,0182	0,4352	0,0265	<0,0001
BL: 1+2 vs 3	0,0777	0,4736	0,0696	0,0190
BL: 1 vs 2	0,0661	0,4717	0,0248	0,0212
ALT	-	0,3450	-	-
ALT: 1+2 vs 3	-	0,8723	-	-
ALT: 1 vs 2	-	0,0720	-	-
BEH(ALT)	0,5079	0,9090	0,2898	0,1457
BEH(ALT1)	0,4773	0,7044	0,2523	0,5776
BEH(ALT2)	0,2834	0,7793	0,0216	0,5990
BEH(ALT3)	0,1142	0,8363	0,0428	0,1592

BL = Block
 ALT = Alter
 BEH = Behandlung
 BEH(ALT) = Behandlung innerhalb Alter

4.4 Diskussion

4.4.1 Diskussion der Methoden

4.4.1.1 Der retrospektive Ansatz

Zur Untersuchung der Effekte unterschiedlicher Behandlungen auf Waldbestände werden üblicherweise langfristige Versuchsflächen angelegt. Für reine Fichtenbestände gibt es solche Versuche bisher hauptsächlich im Flachland, beispielsweise der Fichtendurchforstungsversuch des Lehrstuhls für Waldbau in Freising (Huss 1990, HUSS 2004, HUSS und HAHN 2007) oder verschiedene Flächen im Bayerischen Versuchsflächennetz, welches durch den Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München betreut wird. Im Bereich der bayerischen Alpen sind bislang keine Fichtenversuchsflächen vorhanden. In der Schweiz entstanden zwar langfristige Versuchsflächen im Rahmen des Programmes „Gruppenplenterung“ (BRÄKER et al. 1996, BACHOFEN und ZINGG 2000, 2001, 2005), diese sind jedoch im Bereich des subalpinen Fichtenwaldes angesiedelt. Für die vorliegende Untersuchung standen somit keine Versuchsflächendaten zur Verfügung. Es musste deshalb auf einen retrospektiven Ansatz zurückgegriffen werden, um in einer überschaubaren Zeit zu Ergebnissen

zu kommen. Daraus ergaben sich bestimmte Schwierigkeiten. Zum einen mussten die in der Praxis getätigten waldbaulichen Maßnahmen in den Ansatz einbezogen werden. Diese waren nicht so exakt wie bei einem Versuch definiert, sondern mussten nachträglich rekonstruiert werden. Zum anderen stieß man bei der Suche nach absolut vergleichbaren Flächenpaaren (behandelt/unbehandelt) besonders aufgrund der vielen Einflussfaktoren im Gebirge an Grenzen. Die verbliebenen Unschärfen in der Vergleichbarkeit sorgten zum Teil für eine erhöhte Streuung im Datenmaterial. Diesem Umstand hätte nur durch eine deutliche Erhöhung der Stichprobenzahl, also der Anzahl an Flächensets, begegnet werden können. Der Standardfehler nimmt im Allgemeinen proportional zur Quadratwurzel des Stichprobenumfangs ab. Demnach hätte man für eine Halbierung des Standardfehlers den Stichprobenumfang vervierfachen müssen. Dies war jedoch aufgrund der schwierigen Flächensuche nicht möglich. Nach den hier ausgewerteten Flächen wurde bereits ein halbes Jahr intensiv gesucht. Dennoch stellt der retrospektive Ansatz eine günstige Methode dar, um in wesentlich kürzerer Zeit wichtige Erkenntnisse zu gewinnen, als es mit einem Langzeitversuch möglich ist. Das Programm „Gruppenplenterung“ in der Schweiz ist beispielsweise auf 30-50 Jahre ausgelegt (BRÄKER et al. 1996) und es wird noch lange dauern, bis die Endergebnisse vorliegen. Mit dem retrospektiven Ansatz in Deutschland und dem Langzeitversuch in der Schweiz wurden verschiedene Ansätze gewählt, um verwandte Fragestellungen zu beantworten. Die Zusammenschau der Ergebnisse wird am Ende den höchsten Erkenntnisgewinn bringen.

4.4.1.2 Die Varianzanalysen

Aufgrund der beschriebenen erhöhten Streuung müssen die Ergebnisse der Varianzanalysen besonders sorgfältig interpretiert werden. Würde man sich bei der Beurteilung von Unterschieden zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen ausschließlich auf Ergebnisse beziehen, welche die Signifikanzgrenze von 0,05 unterschreiten, bestünde eine große Gefahr, Fehler der 2. Art zu begehen: eine Beibehaltung der Hypothese H_0 , dass keine Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Fichtenbeständen besteht, obwohl faktisch ein Unterschied vorhanden ist (FAHRMEIR et al. 2004). Besonderes Augenmerk muss folglich auf Variablen wie beispielsweise das h/d-Verhältnis gelegt werden, wo bei fast allen Flächenpaaren eine gleichsinnige Tendenz in den Daten erkennbar ist, die Signifikanz aber oftmals fehlt. Dieser Grundsatz gilt nicht nur für die univariaten Varianzanalysen, sondern in besonderem Maße für die multivariaten Varianzanalysen. Diese sind nicht dazu geeignet, trennscharfe Ergebnisse hinsichtlich Unterschieden in Resistenz, Elastizität und Stabilität zu erzeugen. Wie im vorigen Kapitel beschrieben, variieren die Ergebnisse der multivariaten Varianzanalysen stark, wenn man die Variablenzusammensetzungen nur wenig verändert. Sie sind eher dazu

geeignet, potenzielle Unterschiede aufzudecken. Worin diese genau liegen, müssen die univariaten Analysen zeigen. Letztlich müssen die Ergebnisse der univariaten Analysen dann sinnvoll gewichtet werden. Am Beispiel der Elastizität kann dies verdeutlicht werden: Zur Beurteilung der Elastizität ist die Baumartenzusammensetzung der Pflanzen ab 20 cm wichtiger als die Zusammensetzung der kleineren Pflanzen. Auch wenn unter 20 cm eine breite Baumartenpalette vorhanden ist, kann durch selektiven Verbiss bei den größeren Pflanzen eine Entmischung stattfinden. Damit wäre die Elastizität trotz eines großen Baumartenspektrums bei den Pflanzen unter 20 cm nicht besonders hoch einzustufen. Der Vorteil läge nur noch darin, dass man bei theoretischem Ausschluss des Verbisses auf ein breiteres Potenzial zurückgreifen kann.

4.4.1.3 Die Regressionsanalysen

Die Verwendung der Option „Stepwise“ bei den multiplen Regressionsanalysen wird von einigen Autoren kritisch betrachtet. Laut LUDWIG-MAYERHOFER (1999) können relevante Einflüsse übersehen werden, weil sie entweder aufgrund von Multikollinearität nicht signifikant erscheinen oder weil sie nur in Verbindung mit einer anderen Variablen bedeutsam sind. EL KATEB (mündliche Mitteilung) zufolge gilt dies auch für potenziell relevante Wechselwirkungen. Außerdem können bei der alleinigen Verwendung der Stepwise-Routine u.U. zufällige Streuungen der Stichprobe präzise abgebildet werden, welche aber nicht auf andere Stichproben übertragbar sind und nichts mit den biologischen Gesetzmäßigkeiten zu tun haben (GARSON 2007a). Diese Gefahren wurden in Anlehnung an KNOKE (2003) und LUDWIG-MAYERHOFER (1999) umgangen, indem zunächst immer ein Modell erstellt wurde, das alle als einflussreich angenommenen Variablen und Wechselwirkungen enthielt. Dieses wurde mit den Ergebnissen der schrittweisen Analyse verglichen. Die endgültigen Modelle wurden noch einmal auf biologische Plausibilität geprüft. Auch die von GARSON (2007a) empfohlene Methode der „cross-validation“ wurde angewandt. Dabei wird ein Teil der Daten zunächst bei der Erstellung des Modells nicht verwendet. Anschließend wird das Modell anhand dieser unabhängigen Daten validiert.

4.4.1.4 Verwendung der „Info-Gap-Methode“ und der „Sharpe-Ratio“

Der Einsatz der „Info-Gap-Methode“ wurde von BEN-HAIM im Jahr 2001 für verschiedenste Bereiche vorgeschlagen (Ben-Haim 2006)⁸¹. Im Bereich der Ökologie (REGAN et al. 2005, HALPERN et al. 2006, MOILANEN et al. 2006) oder im Forstbereich (KNOKE 2008) findet diese

⁸¹ Vgl. Kap. 4.2.4.

Methode erst seit Kurzem Anwendung. Nachdem gerade in Schutzwäldern die größtmögliche Sicherheit der Verjüngungsschätzung trotz bestehender Informationslücken von Bedeutung ist, kann die Berechnung der Robustheit nach der Info-Gap-Methode hier durchaus angebracht und vielversprechend sein. Wie bei KNOKE (2008) beschrieben, weist die Info-Gap-Methode eine gewisse Ähnlichkeit zu den in der Ökonomie bereits bekannten „safety first“-Regeln auf. Nachdem sich mit der Anwendung dieser Methode eine möglichst große Toleranz gegenüber möglicherweise falsch eingeschätzten Zukunftsentwicklungen ergibt, ist sie prädestiniert für einen so sensiblen Bereich wie den Schutzwald.

Gerade im Gebirge gibt es ein großes Maß an Unsicherheit über die künftige Entwicklung in vielen Bereichen (KRÄUCHI et al. 2000). Dabei könnte der Info-Gap-Ansatz mit einer größeren Stichprobenzahl und einer größeren Bandbreite an exakt definierten Behandlungsvarianten sicher noch weiter reichende Erkenntnisse bringen. Beispielsweise zur Erkundung der robustesten Option für eine schnelle Entwicklung von Verjüngung im Gebirgswald. Würde man hier ohne Betrachtung künftiger Unsicherheiten nur die potenzielle Entwicklungsgeschwindigkeit der Pflanzen maximieren, wäre möglicherweise die Option mit den besten Lichtbedingungen zu bevorzugen, also der Kahlschlag. Bei dieser Variante ergibt sich aber eventuell eine geringe Robustheit. Wenn die vorhandene Pflanzenausstattung durch unvorhergesehene Einflüsse geschädigt wird, sind keine Samenbäume mehr vorhanden. Hieraus würde eine hohe Volatilität des Verjüngungserfolges und damit eine geringe Robustheit resultieren.

Der Info-Gap-Ansatz kann nicht nur dazu eingesetzt werden, um die Robustheit gegenüber Unsicherheit zu quantifizieren, sondern letztlich auch ein Werkzeug sein, um die Kosten zur Erhöhung der Robustheit zu kalkulieren. Auch dies ist aufgrund der Gemeinwohlfunktionen von Gebirgswäldern von großem Interesse.

Wie MOILANEN et al. (2006) feststellen, ist die Info-Gap-Theory im Hinblick auf zukünftige Unsicherheiten allerdings nur dann eine vielversprechende Methode, wenn die Rahmenbedingungen und Eingangsparameter richtig und sinnvoll gewählt werden. Im rechnerischen Bereich kann dabei für die hier verwendete Methode zur Ermittlung der Robustheit die Verteilungsannahme diskutiert werden. Es wurde von einer Normalverteilung der Verjüngungsdichten ausgegangen. Diese Annahme ist für die unbehandelten Flächen vermutlich nicht zutreffend. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl ist die Normalverteilungsannahme zwar schwer zu widerlegen, aber die vielen unbesetzten Flächen legen nahe, dass hier in Wirklichkeit eine fallende Dichtekurve zugrunde liegt. Eine Interpretation der Ergebnisse ist dennoch möglich. Wenn tatsächlich eine fallende Kurve vorliegt und Normalverteilung unterstellt wird, fällt die Schätzung eher zu positiv aus. Bei den behandelten Parzellen dagegen erwies sich

die Normalverteilungsannahme durchaus gerechtfertigt, wie die Prüfung im Rahmen der Varianzanalysen ergeben hat

Eine weitere entscheidende Rahmenbedingung im Sinne von MOILANEN et al. (2006) auf inhaltlicher Ebene stellt die Frage der Verjüngungssollzahl dar. Hier muss geklärt werden, ob man sich allein an der minimalen Sicherung der Schutzfunktion orientiert, oder ob auch die künftige Holzqualität eine Rolle spielt (was wegen der notwendigen Astreinigung für höhere Zahlen sprechen würde). Solche Fragen müssen für einen zielführenden Einsatz der Methode durch den Entscheidungsträger beantwortet werden.

Die zusätzlich berechnete „Sharpe-Ratio“ bietet zwar nicht dieselbe Sicherheit wie die Robustheit, stellt aber eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von behandelten und unbehandelten Parzellen dar. Dies war vor allem beim Kollektiv der größeren Pflanzen von Bedeutung, wo sich im Rahmen der Info-Gap-Methode für beide Behandlungen keine Robustheit ergab. In diesem Bereich erwies sich die Sharpe-Ratio als das sensiblere Unterscheidungs-
werkzeug, welches für die behandelten Parzellen noch einen definierten Wert lieferte.

4.4.2 Diskussion der Ergebnisse und Vergleiche mit anderen Untersuchungen

4.4.2.1 h/d-Verhältnisse

Die Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen sind zwar nicht signifikant, doch in der Tendenz deutlich erkennbar. Obwohl die Effekte der Eingriffe in einzelnen Fällen durch gewisse Bonitätsunterschiede überprägt sind, zeigen sich auf den behandelten Parzellen niedrigere h/d-Verhältnisse. Bei den modellierten Werten der h/d-Entwicklung in den vergangenen 9 Jahren fallen Bonitätsunterschiede nicht ins Gewicht, da diese über die Regressionsrechnungen ausgeglichen wurden. Diesen Analysen zufolge haben sich die Schlankheitsgrade auf den behandelten Parzellen signifikant niedriger entwickelt als auf den unbehandelten. Diese Verringerung der h/d-Werte muss zwar mit Bedacht interpretiert werden, da es sich um modellierte Werte handelt, doch die Größenordnungen liegen auf vergleichbarem Niveau wie die gemessenen h/d-Entwicklungen auf dem Freisinger Durchforschungsversuch (Huss 2004) und sind damit durchaus plausibel.

Die Modellierung hat einen weiteren Vorteil. Beim diesem Vergleich der aktuellen h/d-Werte mit denen vor neun Jahren sind keine rechnerischen Verschiebungen beteiligt. Eine rechnerische Verschiebung ergibt sich, wenn man bei einem Eingriff gezielt Bäume mit hohen Schlankheitsgraden entnimmt. Dadurch wird der mittlere h/d-Wert auch ohne Entwicklung

der Bäume geringer, weil der Mittelwert aus unterschiedlichen Baumkollektiven berechnet wird. BACHOFEN und ZINGG (2000, 2001, 2005) beschrieben solche Effekte in subalpinen Fichtenbeständen vor und nach Eingriffen. Nach den Eingriffen war der Anteil an Fichten mit einem Schlankheitsgrad unter 80 deutlich höher als vorher. Theoretisch kann die Resistenz des gesamten Bestandes auch durch so einen rechnerisch veränderten Mittelwert erhöht sein, wenn die instabilsten Bäume entnommen wurden und keine Anrisspunkte mehr für Flächenschäden darstellen können. Über die Einzelbaumresistenz der verbliebenen Bäume sagt ein solcher Mittelwertvergleich aber wenig aus. Bei dem hier durchgeführten Vergleich der modellierten Mittelwerte liegt jedoch dasselbe Baumkollektiv zu Grunde. Die Veränderungen in den Schlankheitsgraden sind also nicht auf rechnerische Verschiebungen zurückzuführen, sondern zeigen echte Entwicklungen auf.

Die errechneten h/d -Verringerungen nach den Eingriffen fallen in den Jugendstadien am größten aus. Offensichtlich kann in den jüngeren Stadien am ehesten eine Verbesserung des Schlankheitsgrades durch waldbauliche Eingriffe erreicht werden. Dagegen sind bei den absoluten h/d -Werten die Unterschiede zwischen behandelt und unbehandelt in den Reifestadien, wo bereits zweimal eingegriffen wurde, am deutlichsten. Eingriffe zur Erhöhung der Resistenz sollten also möglichst früh einsetzen, da hier die Fichten noch am stärksten reagieren und in regelmäßigen Abständen wiederkehren, um den positiven Effekt zu verstärken.

Ob die h/d -Werte generell als befriedigend einzustufen sind, soll ein Vergleich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen zeigen. Tab. 4.35 vergleicht die erhobenen h/d -Verhältnisse mit den h/d -Verhältnissen aus dem Fichten-Durchforstungsversuch in Freising (Flachland). Tab. 4.36 zeigt außerdem ein Anforderungsprofil, das KONÔPKA (1978, slowakisch, zit. n. SCHMIDT-VOGT 1989) für vier Vegetationszonen in der Niederen Tatra entwickelte. Er führte umfangreiche Untersuchungen zur Bedeutung von Kronen- und Stammeigenschaften der Fichte im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber Sturm durch.

Tab. 4.35: Vergleich der erhobenen h/d-Verhältnisse mit Werten aus dem Fichten-Durchforstungsversuch in Freising (nach HUSS und HAHN 2007).

Mittlere H/D-Verhältnisse: Alle Bäume					
Höllerl (2009), Bergmischwaldstufe	Altersstufe	unbehandelt	behandelt		
	Jugendstadien	93	91		
	Wachstumsstadien	93	87		
	Reifestadien	82	77		
Huss (2004) Huss, Hahn (2007), Flachland (Freising)	Alter	undurchforstet	Mittelstarke Z-Baum-Durchforstung	Starke Niederdurchforstung	Extrem starke Z-Baum-Durchforstung
	27 Jahre	162	173	174	131
	48 Jahre	111	94	83	66
	58 Jahre	98	87	72	62
Mittlere H/D-Verhältnisse: 100 Stärkste, in Klammern: Min-Max					
Höllerl (2009), Bergmischwaldstufe	Altersstufe	unbehandelt	behandelt		
	Jugendstadien	65 (57-75)	68 (55-79)		
	Wachstumsstadien	69 (58-75)	67 (57-72)		
	Reifestadien	62 (51-71)	62 (52-69)		
Huss (2004) Huss, Hahn (2007), Flachland (Freising)	Alter	undurchforstet	Mittelstarke Z-Baum-Durchforstung	Starke Niederdurchforstung	Extrem starke Z-Baum-Durchforstung
	27 Jahre	88	88	91	90
	48 Jahre	80	70	73	60
	58 Jahre	71	64	66	59

Die Wachstumsstadien im Alter von 65-70 Jahren in der Bergmischwaldzone sind am ehesten mit den 58 jährigen Flächen in Freising vergleichbar. Diese Werte sind fett hervorgehoben. Die unbehandelten Flächen im Gebirge haben sich im Mittel etwas günstiger entwickelt als im Flachland. Die behandelten Gebirgsparzellen bewegen sich in Größenordnungen der mittelstarken Durchforstungen in Freising. Allerdings wurden die Flächen in Freising knapp 30 Jahre lang behandelt, während der Behandlungszeitraum für die Wachstumsstadien im Gebirge bisher maximal 10 Jahre betrug. Es ist zu erwarten, dass die Gebirgsflächen bei gleich langer Behandlungsdauer bessere Werte als im Flachland aufweisen würden. Dennoch bestätigen sich tendenziell die Erkenntnisse aus dem Freisinger Durchforstungsversuch: Um gravierende Verbesserungen der h/d-Verhältnisse zu erzielen, muss stark durchforstet werden. Eine Durchforstung in der Intensität der extrem starken Z-Baumdurchforstung des Freisinger Versuchs ist allerdings im Gebirge in bestimmten Schutzwäldern gar nicht durchführbar. Bei dieser Variante wurde die Stammzahl nämlich im Alter 48 bereits auf 200 Bäume/ha und im Alter 58 auf 100 Bäume/ha reduziert. Diese Stammzahl wäre beispielsweise in Steinschlag-Schutzwäldern zu gering (vgl. Kap. 2.3.2.).

Die Alternative zu sehr starken Durchforstungen wären noch frühere Eingriffe, wie bei MARSCH (1989a, 1989b), NIELSEN (1990, 1991, 1995), KENK und WEISE (1998) oder KOHNLE und TEUFFEL (2005) empfohlen, schon in der Kultur- und Dickungsphase bis 5-6m Höhe. In

diesem Stadium können nicht nur die deutlichsten Verbesserungen bei den Schlankheitsgraden erzielt werden. NIELSEN (1990, 1991) zufolge kann hier außerdem eine deutliche Verbesserung der Verankerung eingeleitet werden, die zu einem späteren Zeitpunkt in diesem Umfang nicht mehr möglich ist. Die Verzweigungsintensität der strukturellen Wurzelsysteme wird seinen Untersuchungen zufolge im Gerten- und Stangenholzalter fast „irreversibel festgelegt“. Er verglich einen traditionell mäßig niederdurchforsteten Bestand mit einem Bestand, der eine frühe Jugendpflege, starke frühe Durchforstungen und schließlich Hiebsruhe erfahren hatte. Obwohl sich das durchschnittliche h/d-Verhältnis der beiden Bestände bei hohen Umtriebszeiten kaum unterschied, wurde gefolgert, dass die Sturmfestigkeit nach dem modernen Konzept erheblich höher als bei traditioneller Hiebsführung sein würde.⁸² So ist es offenbar nicht alleine ausschlaggebend, den Schlankheitsgrad grundsätzlich zu senken. Es ist auch entscheidend, wann der Anstoß dazu gegeben wird.⁸³ Entwickelt sich ein günstiges h/d-Verhältnis erst später aufgrund starker Eingriffe, so überwiegen möglicherweise die Nachteile. Mit dem niedrigeren h/d-Verhältnis und einer größeren Krone entwickelt sich eine größere Windangriffsfläche, unter Umständen ohne dass ausreichendes adaptives Wurzelwachstum dies kompensieren oder gar überkompensieren könnte. Außerdem bewegt man sich mit den Eingriffen dann in einem Bereich, wo größere Baumhöhen zu höherer Windanfälligkeit führen (WILSON und OLIVER 2000, KALBERER et al. 2007).

Hinzu kommt, dass es mit Eingriffen, die zu spät erfolgen, oft überhaupt nicht mehr möglich ist, befriedigende Schlankheitsgrade zu erzielen, wie schon ROTTMANN (1986, S. 69) beschreibt: „Günstige Schlankheitsgrade lassen sich nur durch eine weitständige Bestandesbegründung und mehrfache rechtzeitige Pflegemaßnahmen erreichen. Durch nachgeholte Maßnahmen nach versäumter Pflege können günstige Schlankheitsgrade in überschaubaren Zeiträumen nicht wieder hergestellt werden.“ Die von ROTTMANN (1986) geforderte *weitständige Begründung* wird im Gebirge allerdings sicher nicht das Ziel sein, da man nach Möglichkeit mit Naturverjüngung arbeitet. Umso wichtiger sind dann aber frühzeitige Eingriffe. Die Notwendigkeit früher Eingriffe hängt allerdings auch immer von der Übershirmungssituation und der damit verbundenen Selbstdifferenzierung ab (WEIHS et al. 1999).

KONÔPKA (Tab. 4.36) geht in seiner Untersuchung davon aus, dass in höheren Lagen ein geringeres h/d-Verhältnis als in niedrigeren Lagen als optimal anzusehen ist. Beim Vergleich seiner Mindestanforderungen mit den Daten aus der vorliegenden Untersuchung (Tab. 4.35)

⁸² Vgl. den Abschnitt „Verankerung und Bewurzelung“ in Kap. 4.1.1.1.

⁸³ Vgl. auch FÖLSTER et al. (1991, S.104): „... Demnach führen weite Ausgangsverbände in Verbindung mit weitständiger Bestandeserziehung zu einer intensiveren Bestandesdurchwurzelung.“

wird deutlich, dass die unbehandelten Bestände auch in den Reifestadien kaum die Grenzwerte von KONÔPKA einhalten. Lediglich der Maximalwert für die niedrigste Höhenlage wird im Reifestadium erreicht. In den behandelten Parzellen wird dagegen der Optimalwert für die 850 m-Stufe erreicht und auch knapp der Maximalwert für 1100 m Höhe. Vor dem Hintergrund, dass diese Werte erst in den ältesten Stadien erreicht werden und dass es sich hierbei um Mittelwerte handelt, wird aber gleichzeitig deutlich, dass für ein zufriedenstellendes h/d-Verhältnis früher und regelmäßiger eingegriffen werden muss, als es bei den aktuellen Wachstums- und Reifestadien der Fall war.

Tab. 4.36: Modellwerte (h/d) für optimale Wuchseigenschaften der Fichte im Hinblick auf Stabilität gegen Sturm für vier Vegetationszonen der Niederen Tatra/CSSR (KONÔPKA 1978, slowak., zit n. SCHMIDT-VOGT 1989)

Höhenlage	H/D Maximal	H/D Optimal
850	83	79
1100	75	72
1200	68	63
1300	58	52

Beim Vergleich der *100 stärksten Bäume* (Tab. 4.35 unten) mit Werten anderer Untersuchungen fällt auf, dass die hier vorgefundenen Schlankheitsgrade als recht günstig einzustufen sind. Als Referenz kann man Werte heranziehen, die MOSANDL (1993) für verschiedene Wälder zusammengestellt hat (Tab. 4.37).

Tab. 4.37: h/d-Werte von Fichten der Oberschicht verschiedener Wälder (Alter ca. 100 Jahre) (nach MOSANDL 1993)

Bergmischwald Urwald Himalaya	Bergmischwald Kalkalpen Bayern	Fichtenreinbestand Schotterebene Bayern	Fichtenreinbestand Frankenwald Bayern
56 (39-64)	69 (56-80)	69 (65-73)	54 (45-65)

Demnach liegen die Werte in den Reifestadien mit 62 (sowohl behandelt als auch unbehandelt) im mittleren Bereich der von MOSANDL (1993) aufgelisteten Wälder, wobei diese ein etwas höheres Alter aufweisen als die hier untersuchten Reifestadien.

Für den Vergleich mit dem Fichtendurchforstungsversuch in Freising werden wieder die Wachstumsstadien herangezogen. Die h/d-Werte der 100 Stärksten liegen hier zwischen denen der undurchforsteten und durchforsteten Parzellen auf dem Freisinger Durchforstungsversuch. Auffallend ist aber, dass in Freising durchaus Unterschiede zwischen den Behandlungen auftreten, während bei den hier erhobenen Werten nahezu kein Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen zu verzeichnen ist. Auch MOSANDL (1991,

1993) beschreibt bei der Auswertung des Bergmischwaldversuches des Lehrstuhls für Waldbau behandlungsbedingte Unterschiede in den h/d-Werten der Fichten aus der Oberschicht. Bei längerem Behandlungszeitraum und konsequenter Durchforstung ist also eine Verbesserung der h/d-Verhältnisse auch in der Oberschicht möglich. Dies deutet wieder darauf hin, dass die vorliegenden Gebirgsbestände zu spät und noch über einen zu kurzen Zeitraum behandelt wurden.

4.4.2.2 *Biomasseindex*

Der Biomasseindex $BHD^2 \cdot \text{Höhe}$ wird in der Literatur (GARDINER et al. 1997, PELTOLA et al. 2000) als Weiser für die Windwurfstabilität herangezogen, weil man davon ausgeht, dass die unterirdische Verankerungsmasse im selben Umfang zunimmt, wie die oberirdische Masse. Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass nur Bestände gleichen Alters verglichen werden dürfen: ein jüngerer niedriger Fichtenbestand hat immer eine geringere Wurzelmasse als ein älterer, was aber nicht bedeutet, dass er zwangsläufig instabiler ist. Hier spielen andere Faktoren, vor allem die Bestandeshöhe, eine wichtigere Rolle. Ein Vergleich der mittleren Biomasseindizes kann mit den vorliegenden Daten innerhalb der Altersstufen ohne weiteres durchgeführt werden, da hier auf Altersgleichheit zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen geachtet wurde. Die Resultate stützen die Erkenntnisse aus den Untersuchungen zum h/d-Verhältnis. Nur die kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum behandelten Bestände der Reifestadien zeigen deutliche Unterschiede in den Biomasseindizes.

Aber auch für diese Variable gilt ähnliches wie bereits bei den h/d-Verhältnissen beschrieben wurde: der Baum mit der größeren oberirdischen Masse ist nur dann wirklich stabiler, wenn sich die unterirdische Verankerungsmasse tatsächlich im selben Umfang vergrößert hat. NIELSEN (1990) zufolge spricht dies wiederum für möglichst frühe Eingriffe, wo die Reaktion der Wurzeln auf Eingriffe am größten ist.

4.4.2.3 *Kronenlängen*

Die Kronenlängen und damit der Bekronungsgrad sind sehr träge Größen und auch durch starke Eingriffe kurzfristig nicht beeinflussbar (ROTTMANN 1986). BACHOFEN und ZINGG (2000, 2001, 2005) konnten bei Ihrer Untersuchung in subalpinen Fichtenbeständen keine nennenswerten Kurzzeiteffekte von Durchforstungen auf die Kronenlängen feststellen. Insofern dürfen die hier festgestellten geringfügigen Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Beständen nicht unterbewertet werden. Gerade die Unterschiede in den Reifestadien mit der längsten Behandlung zeigen, dass eine Beeinflussung des Bekronungsgrades bei

konsequenter Behandlung möglich ist. Am deutlichsten wurden die Zusammenhänge zwischen Eingriffen und Kronenlängen bei der Modellierung der Kronenansatzhöhen mittels Regressionsanalyse. Hierbei wurde die Bestandesgrundfläche als entscheidender Faktor aufgenommen. Mit sinkender Grundfläche nahm die Kronenansatzhöhe ab, also stiegen die Kronenlängen an. Waldbauliche Eingriffe senken die Grundfläche, haben damit also langfristig einen positiven Einfluss auf die Kronenlängen. Verwendete man im Regressionsmodell gleichzeitig Bestandesgrundfläche und die Grundfläche der entnommenen Bäume, hatte diese Variable aber einen negativen Einfluss auf die Kronenlängen. Dieser Umstand liegt in den kurzen Behandlungszeiträumen begründet. Ist die Grundfläche der entnommenen Bäume besonders groß, so bedeutet dies, dass die gesamte Bestandesgrundfläche noch vor kurzem deutlich größer und damit der Bekronung abträglich war.

Auch hier sollen die erhobenen Werte anhand von Ergebnissen anderer Untersuchungen eingewertet werden. Tab. 4.38 zeigt die vorgefundenen Mittelwerte von Kronenlängen und Bekronungsgraden und stellt sie in Tab. 4.39 den Anforderungsprofilen von KONÔPKA (1978, slowakisch, zit. n. SCHMIDT-VOGT 1989) gegenüber. Der Vergleich zwischen den Kronenlängen dieser Untersuchung mit den Grenzwerten aus KONÔPKAS Untersuchung fällt insofern etwas schwer, als in der deutschen Zusammenfassung bei SCHMIDT-VOGT (1989) nicht angegeben ist, welches Alter KONÔPKAS Bestände aufweisen. Es scheinen aber ältere Bestände gewesen zu sein, da die Werte noch am ehesten mit den Werten der Reifestadien zusammenpassen. In den behandelten Reifestadien liegen die Kronenlängen über den von KONÔPKA geforderten Minimalwerten, nicht aber über den angegebenen Optimalwerten. In den unbehandelten Reifestadien werden hingegen nicht einmal die Mindestlängen erfüllt.

Tab. 4.38: Erhobene Kronenlängen und Bekronungsgrade

Mittlere Kronenlängen [m]: Alle Bäume (modellerte Werte)		
Altersstufe	unbehandelt	behandelt
Jugendstadien	7,5	9,0
Wachstumsstadien	9,3	9,7
Reifestadien	11,7	15,1
Mittlere Bekronungsgrade [%]: Alle Bäume (modellerte Werte)		
Altersstufe	unbehandelt	behandelt
Jugendstadien	45	47
Wachstumsstadien	42	45
Reifestadien	45	54
Mittlere Kronenlängen [m]: 100 Stärkste (modellerte Werte)		
Altersstufe	unbehandelt	behandelt
Jugendstadien	12,7 (9,9-15,3)	13,4 (10,7-15,7)
Wachstumsstadien	13,8 (9,3-17,7)	13,7 (10,8-17,9)
Reifestadien	16,5 (13,1-20,8)	19,1 (13,1-20,8)
Mittlere Bekronungsgrade: 100 Stärkste (modellerte Werte)		
Altersstufe	unbehandelt	behandelt
Jugendstadien	60 (52-68)	58 (50-65)
Wachstumsstadien	53 (44-59)	55 (48-58)
Reifestadien	54 (45-67)	60 (51-66)

Tab. 4.39: Modellwerte (Kronenlängen und Bekronungsgrade) für optimale Wuchseigenschaften der Fichte im Hinblick auf Stabilität gegen Sturm für vier Vegetationszonen der Niederen Tatra/CSSR (KONÔPKA 1978, slowak., zit n. Schmidt-Vogt 1989)

Bei Konopka geforderte Kronenlängen [m]			
Höhenlage		Kronenlänge minimal	Kronenlänge Optimal
850		15,0	16,4
1100		14,7	16,1
1200		14,2	15,6
1300		13,6	14,8
Bei Konopka geforderte Bekronungsgrade [%]			
Höhenlage		Bekronungsgrad minimal	Bekronungsgrad Optimal
850		46	52
1100		50	56
1200		57	63
1300		63	72

Die Bekronungsgrade sind für Vergleiche besser geeignet als die Kronenlängen, da hier die Altersstufe keinen so starken Einfluss hat. Auch hier sind die Reifestadien am interessantesten, da bei diesen die Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen am deutlichsten sind. Gemessen an den Anforderungen von KONÔPKA sind die behandelten Reifestadien als relativ stabil einzustufen. Nimmt man die Werte für 1100 m Höhe zum Vergleich, dann werden auch die Optimalwerte fast eingehalten. In den unbehandelten Reifestadien

liegen die Bekronungsgrade hingegen sogar unter den von KONÔPKA geforderten Minimalwerten

Auch im Vergleich zu den geforderten Bekronungsprozenten für Schutzwälder nach FREHNER et al. (2005) sind die unbehandelten Parzellen nicht ganz dem Anforderungsprofil entsprechend, während die behandelten Reifestadien zumindest die Minimalforderung erfüllen (vgl. Kap. 2.3.2.: Anforderung minimal: 50%; Anforderung optimal: 75%).

Für eine weitere Einordnung der Ergebnisse werden in Tab. 4.40 die Anteile gut-, mittel- und schlechtbekronter Fichten mit den Verteilungen aus einer Schutzwalduntersuchung am Grünen (Allgäu) verglichen (TOCKHORN und RIESE 1986). Die Autoren verwendeten dieselben Abgrenzungen für die Bekronungsklassen wie in der vorliegenden Untersuchung.

Es fällt auf, dass am Grünen die Anteile der sehr gut bekronen Bäume zwischen 63 und 72%, also noch deutlich höher als bei den hier untersuchten Parzellen liegen. Die behandelten Parzellen der vorliegenden Untersuchung erreichen in den günstigen Fällen ca. 50% sehr gut bekronte Fichten. Dieser Unterschied liegt aber nicht zwangsläufig in einer intensiveren Behandlung begründet, sondern kann noch zwei andere Gründe haben: zum einen ist am Grünen gerade unter 1200 m ein relativ hoher Anteil an Laubholz enthalten, zum anderen ist die Hangneigung am Grünen mit 30-60° noch deutlich steiler als bei den hier untersuchten Parzellen (ca. 15-33°). In der Regressionsanalyse wurde bereits nachgewiesen, daß die Hangneigung einen positiven Einfluss auf die Bekronung hat.

Der Anteil der kurz bekronen Fichten liegt dagegen in den hier untersuchten behandelten Reifestadien unter allen am Grünen gemessenen Werten. Hier zeigt sich offenbar der positive Effekt von kontinuierlicher Behandlung: die Reifestadien sind die Flächen, welche schon zwei Eingriffe erfahren haben.

Tab. 4.40: Anteil der Kronenklassen an der Bestandesgrundfläche: Vergleich zwischen der vorliegenden Untersuchung und einer Untersuchung des Schutzwaldes am Grünen (Allgäu) (nach TOCKHORN und RIESE 1986). Lang: Bekronung über 50%; mittel: Bekronung zwischen 50% und 25%; kurz: Bekronung unter 25%.

Autor	Höhenstufe	Altersstufe	Grundfläche m ² /ha	Anteil an Kronenklasse [%]		
				lang	mittel	kurz
Höllerl (2009) Behandelte Parzellen	Bergmischwaldstufe	Jugendstadien	45,9	40,5	44,3	14,7
		Wachstumsstadien	42,0	17,1	60,8	22,1
		Reifestadien	52,4	54,4	42,7	3,0
Höllerl (2009) Unbehandelte Parzellen	Bergmischwaldstufe	Jugendstadien	56,2	29,5	50,5	19,9
		Wachstumsstadien	58,2	13,5	55,5	31,0
		Reifestadien	73,8	37,0	50,3	12,7
Tockhorn und Riese (1986) Schutzwald Grünen	< 1200 m	ca 50 - 200 Jahre	38,0	72,1	21,7	6,2
	1200-1400 m		46,2	63,6	22,3	4,1
	>1400 m		40,4	72,0	21,9	6,2

Abschließend kann gefolgert werden, dass die Kronenlängen der Fichten auf der Bergmischwaldstufe generell nicht ganz die gewünschten Anforderungen erfüllen, sie aber bei konsequenter Behandlung wohl erreichen können. FREISE (2005, 2007) untersuchte an Thüringer Fichten den Zusammenhang zwischen relativer Kronenlänge und Konkurrenz. Er stellte als Faustregel auf, dass eine Fichte im Mittel mindestens auf der Hälfte ihres Kronenumfangs frei von Konkurrenten sein muss, um eine relative Kronenlänge von 50% zu behalten. Diese Faustregel lässt sich an dem hier erhobenen Datensatz grob bestätigen: entfernt man alle Fichten der sozialen Stellung „3“ (Krone über 50% bedrängt) aus dem Datensatz, so ergibt sich in den behandelten Parzellen aller Altersstadien eine mittlere relative Kronenlänge von über 50%.

Langfristig gesehen können die Kronenlängen auch gesteigert werden, indem der Mischungsanteil von Laubholz erhöht wird. KENNEL (1965) stellte fest, dass die Kronenansatzhöhen im Fichten-Buchen-Mischbestand im Mittel um 0,9 m tiefer liegen als im Fichtenreinbestand.

4.4.2.4 Vitalität

Während einige Stabilitätsweiser immer wieder in Bezug auf ihre Aussagekraft diskutiert werden, wie z.B. der h/d-Wert im Hinblick auf Windwurfbarkeit (vgl. Kap. 4.1.1.1.1. und die vorstehende Diskussion), ist die Vitalität ein eindeutiges, unbestrittenes Kriterium für die Resistenz gegenüber verschiedenen Gefährdungen. So enthalten die meisten Checklisten zur Stabilität den Punkt Vitalität (LANGENEGGER 1979, OTT und SCHÖNBÄCHLER 1986, ZELLER 1982, MOTTA und HAUDEMANN 2000, HEROLD und ULMER 2001, FREHNER et al. 2005, SEITZ und AMMER 2000, BOCKSTAHLER 2006, BAIER et al. 2007b).⁸⁴ Gerade dieses Kriterium betreffend sind die Ergebnisse der Feldforschung sehr eindeutig. Durch die Eingriffe konnten die Anteile an sehr vitalen Fichten gesteigert und die Anteile an wenig vitalen gesenkt werden. Dieses Ergebnis ist insofern bemerkenswert, als auf den Zusammenhang zwischen Vitalität und waldbaulichen Eingriffen bis dato noch relativ wenig geachtet wurde. So wurden beispielsweise die Daten der Waldzustandserhebung noch nicht auf diesen Aspekt hin ausgewertet, was aber durchaus möglich wäre (BAUER 2007). Auch keiner der Interviewpartner in der Expertenbefragung nannte die Steigerung der Vitalität als konkretes Ziel für die Bewirtschaftung von den Fichtenbeständen. Dabei wird dieser Punkt in Zukunft zunehmend wichtiger werden, weil im Zuge der Klimaveränderung die Belastungen für die Fichten und die Aktivität von Schädlingen im Gebirgswald noch zunehmen werden (BINDER 2007a, 2007b, IMMLER und

⁸⁴ Vgl. Kap. 2.

BLASCHKE 2007). Vitalere Fichten können einem Borkenkäferbefall eher widerstehen als weniger vitale. Die Untersuchungen von SCHMID-HAAS (1991, 1994, 2002) machen zudem deutlich, dass die Vitalität ein entscheidender Faktor für die Windwurfresistenz ist. Er konnte signifikante Zusammenhänge zwischen Wurzelfäule, Kronenverlichtungen und späteren Windwurfschäden nachweisen.

Den Ergebnissen der Felduntersuchung ist nicht zu entnehmen, ob die Anteile der Vitalitätsklassen rechnerisch verschoben wurden, indem man weniger vitale Bäume entnommen hat, oder ob die Bäume durch die Eingriffe tatsächlich vitalisiert wurden. Es ist anzunehmen, dass bei den Eingriffen tendenziell die weniger vitalen Bäume zur Förderung der kräftigen entnommen wurden. Anders vorzugehen wäre waldbaulich falsch. Es ergibt sich aber auch ein Indiz für eine echte Vitalisierung der verbliebenen Fichten aus der Regressionsanalyse für den Einzelbaumzuwachs: Je kräftiger der Eingriff geführt wurde, desto größer war der anschließende Zuwachs, was für eine höhere Vitalität spricht. Aber auch eine rechnerische Verschiebung aufgrund von Entnahmen weniger vitaler Bäume wäre im Hinblick auf Schädlinge und auf Angriffspunkte für Windwürfe als positiv zu sehen.

4.4.2.5 Schältschäden

Die Unterschiede in den Schältschadensanteilen der untersuchten Bestände waren aufgrund der hohen Streuung dieses Merkmals statistisch nicht absicherbar.⁸⁵ Dennoch sind in den Wachstums- und Reifestadien deutliche Trends erkennbar. Beispielsweise liegen in den Reifestadien die Schältschäden der Fichten in behandelten Parzellen bei allen Flächenpaaren um 13–22 Prozentpunkte unter denen der unbehandelten Parzellen. Diese Unterschiede müssen allerdings sorgfältig interpretiert werden: sie sind nicht zwangsläufig in vollem Umfang auf waldbauliche Maßnahmen zurückzuführen. Möglicherweise spielt hier auch ein methodischer Aspekt der Flächenauswahl eine Rolle, der bereits im Kapitel „Material und Methoden“ unter dem Stichwort „Quasiexperimentelle Untersuchung“ angesprochen wurde. Die Flächenauswahl war dadurch beeinflusst, dass Flächen mit und ohne Eingriff gefunden werden mussten. Die Flächen mit Eingriff waren dort zu finden, wo die Revierleiter sich für die Durchführung von Maßnahmen entschieden hatten. Unbehandelte Parzellen finden sich oft in Bereichen, die schlechter erschlossen sind, weil dort eine Holzernte weniger wirtschaftlich ist. Eine schlechtere Erschließung bedeutet immer, dass diese Bereiche weniger frequentiert und attraktiver als Aufenthaltsorte für Rotwild sind. Dort ist dann auch mit höheren Schältschäden zu rechnen. Generell wurde zwar versucht, diesen Umstand bei der Flächenauswahl zu be-

⁸⁵ In Ruhpolding waren die Schältschäden generell niedriger als an den anderen Standorten.

rücksichtigen, was aber nicht überall gelang. Ein Beispiel dafür sind die Reifestadien in Ruholding. Die behandelte Parzelle liegt unterhalb einer Forststraße, wo schon immer ein Wanderweg verlief. Die unbehandelte Parzelle liegt oberhalb der Forststraße, ist wesentlich schlechter von dort aus einzusehen, damit abgeschiedener und einem höheren Schältschadensrisiko ausgesetzt.

Diese methodische Komponente allein kann jedoch nicht die aufgedeckten Unterschiede erklären. Ein Einfluß der waldbaulichen Behandlung ist nicht zu übersehen. Hierin spiegelt sich auch die Strategie vieler Forstpraktiker wider, welche bei den waldbaulichen Eingriffen gezielt die am stärksten geschälten Bäume zugunsten der Besseren entnehmen. Diese Strategie der „passiven Steigerung der Resistenz“ ist als durchaus zielführend anzusehen. VALINGER et al. (1993) wiesen anhand von logistischen Regressionsanalysen und Diskriminanzanalysen nach, dass die Wahrscheinlichkeit von Wind- und Sturmschäden um bis zu 40% sinkt, wenn im Rahmen von Durchforstungen sogenannte „High-Risk-Trees“ gezielt entnommen werden. In der genannten Untersuchung wurden zur Definition dieser besonders gefährdeten Bäume zwar andere Kriterien verwendet, das Konzept der Entnahme von „High-Risk-Trees“ lässt sich aber sicher auf stark geschälte oder auch wenig vitale Bäume übertragen. Ein Indiz dafür stellen auch Filmaufnahmen des Sturms „Lothar“ von 1999 dar (beschrieben bei SCHÜTZ 2005 und SCHÜTZ et al. 2006). Demnach versagen bei Sturm zunächst einzelne schwache Bäume ohne einen Domino-Effekt. Später vorkommende Extremböen sorgen für weitere Einzelschäden. Es entstehen sukzessive größere Zwischenräume, was für größere Schwingungsamplituden sorgt. Schließlich bilden sich Lücken, in denen Turbulenzen entstehen. Ab einer gewissen Auflösung des Bestandes kommt es zu Flächenschäden.

Ein weiterer Vorteil der waldbaulichen Eingriffe im Hinblick auf Schältschäden liegt darin, dass die Bestände durch diese Maßnahmen tendenziell unattraktiver für Rotwild werden. Einer Untersuchung von VOSPERNIK (2006) zufolge bevorzugt Rotwild besonders dichte Bestände mit geringeren Durchmessern.

4.4.2.6 Strukturindizes

Wie im Ergebnisteil beschrieben, wurde bei den Eingriffen in der Regel weder die horizontale noch die vertikale Verteilung oder die Durchmesserdiversifizierung nennenswert beeinflusst. Das Ergebnis hinsichtlich der horizontalen Verteilung deckt sich im Wesentlichen mit den Erkenntnissen von BACHOFEN und ZINGG (2000, 2001, 2005) in subalpinen Fichtenbeständen. Sie verglichen die Aggregationsindizes ihrer Versuchsbestände direkt vor und nach den Eingriffen. Auch hier zeigten sich kaum Änderungen in der räumlichen Verteilung.

Die Jugend- und Wachstumsstadien in Ruhpolding zeigen aber, dass die räumliche Verteilung im Rahmen von Durchforstungen dennoch beeinflussbar ist. Während die unbehandelten Flächen mit Aggregationsindizes von 1,12 bzw. 1,14 als sehr regelmäßig verteilt bezeichnet werden können, sind die behandelten Parzellen mit 0,92 eher geklumpt.⁸⁶ Diese Verteilungen resultieren aus den gruppendurchforstungsartigen Eingriffen des dortigen Revierförsters. Solche Eingriffe sind dazu geeignet, die Verjüngung zu fördern und die Struktur des Folgebestandes zu verbessern. Sie stellen aber auch ein gewisses Risiko dar, weil die entstehenden Lücken potenzielle Angriffspunkte für Sturmschäden bilden (STACEY et al. 1994, GARDINER et al. 1997). Zumindest vom Sturm „Kyrill“ im Januar 2007, der in anderen Revierteilen Ruhpoldings einige Schäden ausgelöst hat, wurden die genannten Bestände allerdings verschont.

Nachdem in Kap. 4.1.1.1.2. beschrieben wurde, dass die Resistenz gegen Sturmereignisse in strukturierten Beständen höher ist, sind die hier generell vorgefundenen homogenen Verteilungen eher unbefriedigend. Umgekehrt ist derzeit allerdings in keinem der Bestände ein Aggregationsindex unter 0,8 zu finden, was bei ZIMMERMANN und ZWINGMANN (2001) aufgrund des Auftretens größerer Lücken schon als bedenklich hinsichtlich der Schutzbefähigung eingestuft wurde (vgl. Kap. 2.3.2.).

Bei den relativen Profilindizes und den Durchmesserdifferenzierungen der Bestände fällt auf, dass die Untersuchungsparzellen für reine Fichtenbestände eine überraschend hohe Differenzierung und Schichtung aufweisen. Die Durchmesserdifferenzierung ist mit T-Werten um die 0,30-0,34 deutlich stärker als nach dem bei PRETZSCH (2002) für Fichten angegebenen Richtwert (0,25) zu erwarten und übertrifft in einigen Fällen sogar den von ihm angegebenen Wert für zweischichtige Fichten-Buchenbestände (0,32). Dabei weisen zum Teil die behandelten und zum Teil die unbehandelten Parzellen die höheren Werte auf. Die höchsten Werte mit 0,38 und 0,41 sind sogar in unbehandelten Parzellen zu finden.

Die mittleren relativen Profilindizes von 68 bis 83 % des maximal möglichen stellen auch eine relativ starke vertikale Differenzierung dar.

Die beschriebenen Erkenntnisse werden durch Ergebnisse von NEUMANN und STARLINGER (2001) gestützt, die feststellten, dass die Strukturen von Beständen oberhalb 900 m Höhe über NN in der Regel komplexer sind als die von Beständen in tieferen Lagen. Die Strukturen sind für reine Fichtenbestände also schon als ausgesprochen günstig einzustufen und vermutlich nur schwer durch Eingriffe zu verbessern. Echte Verbesserungen durch waldbauliche

⁸⁶ Vgl. die Parzellenwerte und die Stammfußkarten im Anhang.

Eingriffe können hier wohl nur langfristig in Form einer Erhöhung der Baumartenmischung erzielt werden.

4.4.2.7 Verjüngung

Trotz der geringen Anzahl an Mischbaumarten im Altbestand ergibt sich in den behandelten Parzellen ein erfreulich gemischtes Potenzial an Vorausverjüngung, was sich mit den Beobachtungen von DIACI (2002) in Fichtenbeständen der slowenischen Alpen deckt (vgl. Kap. 2.4.2.). Auf einigen Parzellen findet sich die klassische Baumartenzusammensetzung des Bergmischwaldes aus Fichte, Buche, Tanne, Bergahorn und zum Teil Vogelbeere oder Esche. In den unbehandelten Fichtenbeständen sind dagegen die Lichtverhältnisse so gering, dass selbst Pflanzen unter 20 cm nur spärlich vorhanden sind.

Aber auch in den behandelten Parzellen ist die Gesamtzahl der Verjüngungspflanzen deutlich geringer als in Bereichen, wo der Altbestand eine Bergmischwald-Zusammensetzung aufweist. Während hier auf den behandelten Parzellen in den günstigen Fällen 12.000-17.000 Pflanzen/ha stehen (Ausnahme Jugendstadium in Ruhpolding mit ca. 28.000), wurden auf den Untersuchungspartellen des Bergmischwaldversuches vom Lehrstuhl für Waldbau auch außerhalb des Zaunes 16 Jahre nach Anlage des Versuches zwischen 112.000 und 400.000 Pflanzen gezählt (AMMER 2003). Dabei lag der Anteil an Fichten bei lediglich zwischen 5 und 7%. Die höhere Pflanzenzahl in den Bergmischwaldparzellen scheint also durchaus mit dem höheren Anteil an Mischbaumarten im Altbestand zusammenzuhängen.

Noch deutlicher wird ein gewisser Mangel an Verjüngungspflanzen, wenn man das Kollektiv der Pflanzen ab 20 cm Höhe betrachtet. Auch hier ist die Baumartenzusammensetzung erfreulich heterogen, aber die Anzahl der Pflanzen ist als nicht befriedigend einzustufen. Die Verjüngungssollzahlen von 1.000 – 2.500 Pflanzen/ha werden für die größeren Pflanzen nur in Ruhpolding erreicht. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Sollzahlen nur von den Notwendigkeiten zur Erhaltung der Schutzfunktion abgeleitet sind. Will man mit dem Folgebestand auch wirtschaften und gute Holzqualitäten erzielen, sind durchaus höhere Verjüngungszahlen erstrebenswert, vor allem wenn Laubholz in der Verjüngung beteiligt ist, bei dem zur Astreinigung Dichtstand benötigt wird.

Bei der Ursachenforschung für mangelnde Verjüngung größer 20 cm muss von Fall zu Fall genau geprüft werden, ob der Anteil an Mischbaumarten im Altbestand tatsächlich zu gering ist, ob seit dem Eingriff noch nicht genügend Zeit für die Entwicklung der Pflanzen vergangen ist, oder ob die Entwicklung der Pflanzen durch einen zu hohen Wildstand gehemmt ist. Dass der Bestand an Reh-, Rot- und Gamswild den entscheidendsten Faktor für das Überle-

ben und die Entwicklung der Verjüngung im Gebirge darstellt, wurde bereits in vielen Untersuchungen bestätigt (BURSCHEL et al. 1990, MOSANDL 1991, EL KATEB 1991, AMMER 1996a, 1996b, MOTTA 1996, 1999, SCHALL 1998, PRIETZEL 2007a, 2007b, PRIETZEL und AMMER 2008). Es war deshalb nicht notwendig, diesen Faktor in der vorliegenden Feldforschung ein weiteres Mal zu untersuchen, abgesehen davon, dass die versuchstechnische Erfassung des Wildeinflusses im retrospektiven Ansatz nicht möglich war. Dennoch spiegeln die Pflanzenzahlen der verschiedenen Blöcke einen gewissen Wildeinfluss wider. Die beste Verjüngungssituation findet sich auf den Ruhpoldinger Parzellen, wo im Gegensatz zu den anderen Orten keine Hinweise auf Aktivitäten von Rotwild zu finden waren. In Oberammergau und Tölz waren sowohl Fährten als auch Losung von Rotwild zu sehen. Zu der geringeren Rotwildbelastung in Ruhpolding kommt, dass der Revierförster des Reviers Laubau seit 1993 für sehr hohe Abschusszahlen bei Reh- und Gamswild sorgt (STOLZ 2007). Der Erfolg dieser Bemühungen manifestiert sich auch auf den Versuchsflächen des Bergmischwaldversuches des Lehrstuhls für Waldbau, wo die Unterschiede zwischen gezäunten und ungezäunten Parzellen in den letzten Jahren merklich geringer wurden.⁸⁷

Den Fall, dass noch nicht genügend Zeit zur Entwicklung der Pflanzen seit dem Eingriff vergangen ist, findet man auf der Wachstumsparzelle in Oberammergau. Hier ist im Kollektiv der Pflanzen unter 20 cm eine ähnlich positive Situation wie in Ruhpolding zu verzeichnen. Im Bereich ab 20 cm ist die Pflanzenzahl dagegen noch sehr gering, da der stärkste Eingriff zur Verbesserung der Belichtungsverhältnisse erst 3 Jahre vor der Erhebung erfolgte.

In den Bereichen, wo im Altbestand tatsächlich zu wenige Mischbaumarten vertreten sind, wo beispielsweise die Tanne gänzlich fehlt, kommt man um eine rechtzeitige künstliche Verjüngung nicht umhin. Allerdings sollte auch in den Bereichen, wo die Mindestzahl an Verjüngungspflanzen erreicht wird, eine ergänzende Pflanzung zur Sicherung der genetischen Basis in Erwägung gezogen werden. Stehen die wenigen Samenbäume sehr weit auseinander, so wird vor allem bei windbestäubten Arten die Wahrscheinlichkeit von Selbstbefruchtung sehr groß. MÜLLER (1977) hat für die Waldkiefer festgestellt, dass der Pollenbeitrag am Samen benachbarter Bäume schon bei einer Entfernung von 20 m deutlich zurückgeht. Zu ähnlichen Ergebnissen kam FINKELDEY (1999) für die insektenbestäubten Teakbäume (vgl. Abb. 4.43).

⁸⁷ Diese Parzellen liegen nicht weit von den hier untersuchten Fichtenbeständen entfernt.

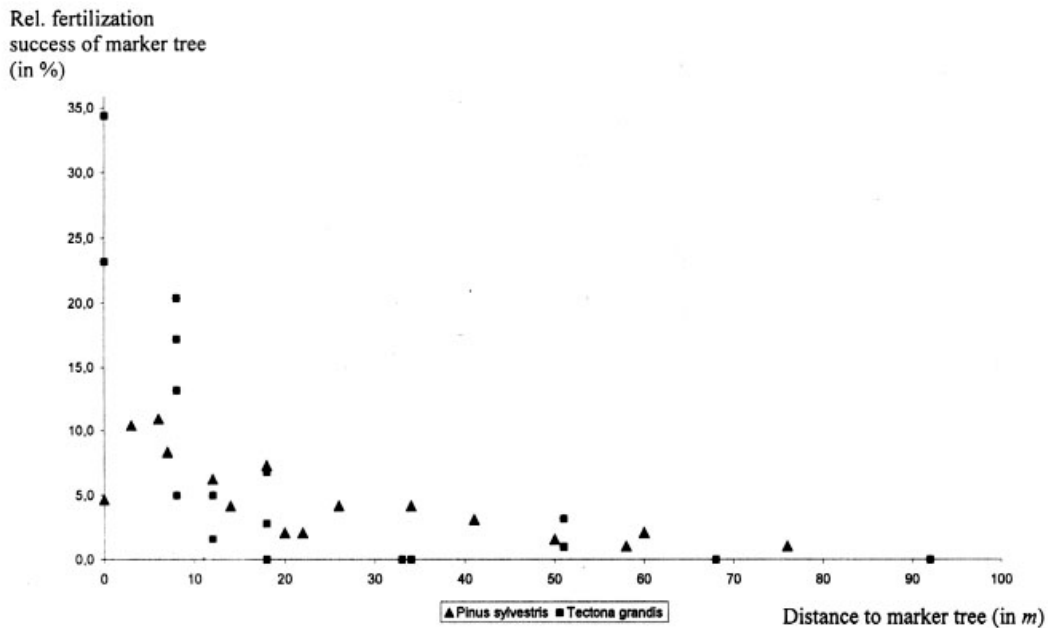


Abb. 4.43: Pollenbeitrag eines im Ursprung (Entfernung 0) stehenden Baumes zum Saatgut benachbart stehender Bäume für *Pinus sylvestris* (Daten aus MÜLLER 1977) und *Tectona grandis* (zusammengefasst von FINKELDEY 1999). Für die Entfernung 0 sind die entsprechenden Selbstbefruchtungswahrscheinlichkeiten angegeben.

Die einzelnen Mischbaumarten sind in den Fichtenbeständen zum Teil so gering vertreten, dass aufgrund der schmalen genetischen Basis beispielsweise eine Saatgutbeerntung nach dem Forstvermehrungsgutgesetz nicht zulässig wäre. Dort werden für die Zulassung von Erntebeständen der entscheidenden Vermehrungsgutskategorie „Ausgewählt“ bei der Tanne 40 Bäume pro Bestand und 20 Bäume pro Beerntung gefordert. Bei der Rotbuche sind es über 800 m NN auch noch 20 Bäume pro Bestand und 10 Bäume pro Ernte (AID INFODIENST 2003). Auch MÜLLER-STARCK und STIMM (2007) führen diese Zahlen als Mindestwerte für eine ausreichende genetische Variation an. FRANKEL und SOULÉ (1992) sowie GRAUDAL et al. (1997) nennen als Mindestzahl, um Selbstbestäubungseffekte nicht zu groß werden zu lassen, 50 Individuen, welche sich untereinander austauschen. Nachdem diese Zahlen von den einzelnen Mischbaumarten in den Fichtenbeständen oft nicht erreicht werden und weil gerade im Hinblick auf den Klimawandel auf eine angemessene genetische Basis im Folgebestand geachtet werden muss⁸⁸, sollte in dieser Situation nicht ausschließlich auf Naturverjüngung gesetzt werden. Auch wenn es grundsätzliches Betriebsziel des Waldeigentümers ist, weitgehend mit Naturverjüngung zu arbeiten, ist eine Ergänzungspflanzung hier empfehlenswert. Stellen reine Fichtenbestände in dieser Höhenlage doch ein anthropogen entstandenes

⁸⁸ Vgl. Arbeitstagung zu Klimawandel und genetischer Diversität (WÜHLISCH 2006).

Kunstprodukt dar, dessen Veränderung zu einer natürlichen Bestockung beschleunigt werden sollte. Vorhandene Naturverjüngung sollte jedoch in jedem Fall übernommen werden. Diese hat gegenüber der Pflanzung den Vorteil, dass mehrere Samenjahre bei der Reproduktion beteiligt sind (KONNERT et al. 2007).⁸⁹

4.4.2.8 Robustheit und Sharpe-Ratio der Verjüngungsdichten

Die Berechnung der „Sharpe-Ratio“ dokumentiert zusätzlich zu den Varianzanalysen die Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen und macht deutlich, dass die Eingriffe durchaus positive Effekte bringen. Bei den Berechnungen der Robustheiten nach der Info-Gap-Methode wird allerdings offensichtlich, dass auch auf den behandelten Parzellen dringender weiterer Handlungsbedarf besteht. Selbst bei Verwendung der geringsten Verjüngungssollzahl ergibt sich für das Kollektiv der großen Pflanzen überhaupt keine Robustheit und für das Gesamtkollektiv eine nur sehr geringe. Gerade im Gebirge bei den sehr extremen klimatischen Bedingungen und der jagdlich äußerst schwierigen Situation sind diese Werte als weitaus zu niedrig zu beurteilen. Auch aus diesem Blickwinkel sind Ergänzungspflanzungen und Schutz der bestehenden Verjüngungsansätze dringend geboten.

⁸⁹ Unterschiedliche Eltern fruktifizieren ggf. in unterschiedlichen Jahren. Verjüngungen aus mehreren Samenjahren weisen dann eine höhere genetische Vielfalt auf.

*A model is a way of thinking –
and it will always have some lack of information.
But it helps you to answer very difficult questions,
that you cannot answer in any other manner.*

JOSEPH BUONGIORNO 2008

5 Finanzielle Bewertung der waldbaulichen Maßnahmen

5.1 Stand des Wissens

Dieses Kapitel beschäftigt sich zunächst mit einigen Untersuchungen über die finanziellen Auswirkungen bestimmter waldbaulicher Maßnahmen. Neben der Betrachtung von Einnahmen und Ausgaben ist hierbei auch die Abschätzung und Integration der naturalen Risiken in die Kalkulationen von großer Bedeutung (DIETER et al. 2001). Deshalb werden auch einige Arbeiten zu Methoden der Risikoberücksichtigung genannt.

5.1.1 Finanzielle Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen zur Erhöhung von Resistenz oder Elastizität

KNOKE (1998b) führte einen finanziellen Vergleich von verschiedenen Durchforstungsszenarien in Fichtenbeständen des tertiären Hügellandes durch. Er stützte sich dabei auf Daten des Freisinger Fichtendurchforstungsversuches des Lehrstuhls für Waldbau, welche mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA (KAHN und PRETZSCH 1997, PRETZSCH et al. 2002) fortgeschrieben wurden. Seinen Ergebnissen zufolge sind starke, zum Zweck der Stabilisierung durchgeführte Eingriffe mit Zuwachsverlusten verbunden, die sich bei zinsfreier Betrachtung auch in geringeren Einzahlungsüberschüssen niederschlagen. Allerdings waren diese starken Durchforstungsvarianten schon bei relativ moderaten Zinsforderungen von 2,0% finanziell vorteilhafter einzustufen als die undurchforstete Variante und übertrafen bei geforderten 2,8% auch die schwächere Durchforstungsvariante, welche bei zinsfreier Betrachtung noch den höchsten Wertzuwachs aufgewiesen hatte. Dafür sorgten frühe Einzahlungen, die unter Annahme von Zinsen wertvoller sind als spätere.⁹⁰ Stabilisierende Effekte der Durchforstungen, welche ggf. Schadanfälle in diesen Varianten verringerten und damit die finanzielle Vorteilhaftigkeit evtl. noch vergrößerten, wurden dabei noch gar nicht in die Kalkulationen einbezogen. Eine Studie von KNOKE und SEIFERT (2008) belegt aber, dass stabilisierende Effekte wie beispielsweise die Beimischung von Laubholz den finanziellen Ertrag bei gleichzeitiger Verringerung des finanziellen Risikos steigert.

Als weiteren finanziellen Vorteil früher kräftiger Eingriffe führte Knoke (1998b) die durchgehende Liquidität der Waldbesitzer an, welche bei früheren bzw. regelmäßigeren Einzahlungsüberschüssen eher gegeben ist, als bei einer einzelnen Einzahlung am Ende der Umtriebs-

⁹⁰ Diesen durchforstungsbegünstigenden Effekt von höheren Zinsforderungen beschreiben auch SÁNCHEZ OROIS und VILČKO (2002).

zeit.⁹¹ Auch UTSCHIG (1997) beschreibt den Vorteil früher liquiditätssteigernder Einnahmen im Zusammenhang mit Eingriffen zur Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände. KNOKE und PLUSZYK (2001) untersuchten die finanziellen Auswirkungen einer Überführung von schlagweise bewirtschafteten Fichtenbeständen in Plenterwälder. Auch hier resultierte die Überführungsvariante bei zinsloser Betrachtung in niedrigeren Einzahlungen als bei der schlagweisen Variante. Je nach Kalkulationszeitraum und Umtriebszeit der schlagweisen Variante genügten jedoch Zinsforderungen von 0,8-2,6%, um bei der Überführungsvariante die höheren Kapitalwerte zu erzielen (PLUSZYK 2000, KNOKE und PLUSZYK 2001, KNOKE 2004a). Aufgrund kontinuierlicher, verteilter Einzahlungen birgt die Überführungsbewirtschaftung auch ein geringeres Risiko hinsichtlich Holzpreisschwankungen als die schlagweise Bewirtschaftung. Wenn bei letzterer Form der Bewirtschaftung zum Zeitpunkt der Endnutzung nämlich ein geringer Holzpreis zu erzielen ist, entstehen große Verluste (KNOKE et al. 2001).

HANEWINKEL (2004, 2006)⁹² untersuchte die finanziellen Konsequenzen eines Waldumbaus vom Fichten-Reinbestand zum Bergmischwald und kam zu ähnlichen Ergebnissen wie KNOKE und PLUSZYK (2001). Je höher der Diskonzierungsziinsfuß für die kalkulierten Maßnahmen gewählt wurde, desto stärker schlugen die früheren Einzahlungen der Umbauvariante zu Buche und dämpften die Kosten für die Pflanzungen von Buche. Während sich die Kosten des Umbaus bei einem Zinssatz von 1% noch auf 6000 €/ha summierten, sanken sie bei 3% auf unter 1000 €/ha.

Auch BITTER und SCHÖNBACH (2004) führten im Rahmen einer GIS-gestützten Betriebssimulation finanzielle Kalkulationen für einen Umbau von Fichtenreinbeständen durch. Eine extensive Umbauvariante unter Einbezug von Laubholznaturverjüngung stellte sich ab einem Kalkulationszins von 2% als finanziell vorteilhafter dar als die Fichtenreinbestands-Variante.

Generell gerieten die finanziellen Auswirkungen der Bewirtschaftung von gemischten Beständen anstelle von (Fichten)reinbeständen in jüngerer Vergangenheit mehr und mehr in den Fokus der Wissenschaft. (z.B. OLSTHOORN et al. 1999, FELBERMEIER und MOSANDL 2004, JACOBSEN et al. 2004, MÖHRING 2004 und folgende Zitate). Indem man dem Umstand Rechnung trug, dass naturale Diversität und die Diversität in Finanzanlagen große Übereinstimmungen

⁹¹ Vgl. auch MOOG (1997), HANEWINKEL (2006).

⁹² Siehe auch Hanewinkel (2001) und HANEWINKEL und NAVARRO (2005).

aufweisen,⁹³ wurden Finanztheorien wie die Portfolio Theorie von MARKOWITZ (1952), Separationstheorem von TOBIN (1958) und das Capital Asset Pricing Modell (u.a. SHARPE 1964, 1966) auf die richtige Wahl der Mischung von Baumarten übertragen (THOMSON 1991, WAGNER und RIDEOUT 1991, WIPPERMANN und MÖHRING 2001, WEBER 2002, PENTTINEN und LAUSTI 2004, MOOG 2004, KNOKE 2004b, KNOKE et al. 2005, KNOKE und WURM 2006, KNOKE und HAHN 2007). Berücksichtigt man dabei Diversifikationseffekte⁹⁴, so kann mit gemischten Beständen bei geringerem Risiko der gleiche Profit erwirtschaftet werden, wie es bei Reinbeständen der Fall ist. Beziehungsweise bei gleichem Risiko kann mit gemischten Baumarten ein höheres finanzielles Ergebnis erzielt werden als mit nur einer Baumart (KNOKE et al. 2005). KNOKE und WURM (2006) wiesen darüber hinaus nach, dass die Vorteile von Mischbeständen noch stärker werden, wenn der Waldbesitzer flexibel auf den Markt reagiert und die betreffende Baumart zu Zeiten erntet, in welchen ihr Preis hoch ist.

KNOKE (2007) sowie KNOKE und SEIFERT (2008) gingen noch einen Schritt weiter. Auch sie modellierten Mischbestände mit unterschiedlichen Anteilen von Fichte und Buche und kalku lierten daraus Kapitalwerte und deren Streuungen. Sie berücksichtigten dabei aber nicht nur ein vermindertes finanzielles Risiko aufgrund von leicht negativ korrelierten Preisen der beiden Baumarten, sondern bewerteten auch ökologische Effekte, indem sie großflächige bestandesweise Mischungen mit kleinflächigeren gruppenweisen Mischungen verglichen. Bei den kleinflächigen Mischungen ging sowohl eine erhöhte Stabilität der Fichte in die Simulationen ein, als auch veränderter Zuwachs der beiden Baumarten⁹⁵ und eine reduzierte Holzqualität. Während die veränderten Zuwachseleistungen wenig an den finanziellen Ergebnissen änderten, senkte die schlechtere Holzqualität die Kapitalwerte bei erhöhtem Risiko. Die größere Resistenz der Fichte im Mischbestand hatte aber den bedeutendsten Effekt, welcher die Auswirkungen der schlechteren Holzqualität überkompensierte. Ab einem Fichtenanteil von

⁹³ Global wurde dieser Vergleich zwischen natürlicher und finanzieller Diversität bei FIGGE (2004) unter dem Schlagwort „Biofolio“ beschrieben.

⁹⁴ Mit Diversifikationseffekten ist eine Senkung des Risikos gemeint, wenn sich die Preise verschiedener Baumarten nicht gleichsinnig entwickeln. Wenn beispielsweise der Preis von Fichte sinkt, muss nicht unbedingt der Preis von Buche sinken. KNOKE et al. (2005) erklären dies plakativ mit der Investition in Regenschirme und Sonnencreme. Das Verlustrisiko wird gesenkt, da man sowohl in einem verregneten als auch in einem sehr heißen Sommer Gewinne macht.

⁹⁵ KENNEL (1965) stellte im Mischbestand (50% Fichte/50% Buche) gegenüber Reinbeständen bei Fichte einen um 16% gesteigerten und bei Buche einen um 13% verminderten Volumenzuwachs fest. PRETZSCH (2003, 2004, 2005a, 2005b) diagnostizierte unterschiedliche Reaktionen je nach Standort und gemischten Baumarten. Demnach können Mischbestände in Summe sowohl gesteigerten als auch verringerten Zuwachs leisten als Reinbestände.

40% und mehr ergaben sich bei gruppenweisen Mischungen höhere Kapitalwerte unter geringerem Risiko als im Falle von bestandesweisen Mischungen.

VALKONEN und VALSTA (2001) berücksichtigten bei einer ökonomischen Studie von Fichtenreinbeständen und Mischbeständen mit Birke die Interaktionen zwischen den Baumarten insofern, als sie den Holzzuwachs verglichen. Die Mischbestände schnitten aufgrund der größeren Erträge im Vergleich finanziell besser ab.

Viele der genannten Studien zeigen also direkt oder indirekt eine finanzielle Vorteilhaftigkeit von waldbaulichen Eingriffen auf, welche die Resistenz oder die Elastizität erhöhen. Jedoch keiner der Ansätze basiert auf der speziellen Situation im Gebirge, wo die Aufwendungen zur Holzernte zum Teil ganz andere Dimensionen annehmen (STAMPFER 2002, NORDFJELL et al. 2004) und auch andere Zuwachsverhältnisse herrschen als im Flachland. Als eine der wenigen forstökonomischen Studien, welche die Verhältnisse im Gebirge berücksichtigt, sei die Arbeit von EDERER (2006) genannt. Allerdings spielten hier Stabilitäts- oder Mischungsaspekte keine Rolle, sondern es wurden verschiedene Nutzungsvarianten hinsichtlich ihrer finanziellen Vorteilhaftigkeit verglichen.

5.1.2 Integration von Risiken in die finanzielle Bewertung von waldbaulichen Maßnahmen

In Anlehnung an die Einteilung in der Betriebswirtschafts- und Versicherungslehre wird der Risikomanagement-Prozess in die Schritte *Risikoanalyse*, *Risikohandhabung* und *Kontrolle des Risikomanagements* eingeteilt (ROEDER 1991, HOLTHAUSEN et al. 2004, HOLTHAUSEN 2006). Für die Integration von Risiken in finanzielle Bewertungen waldbaulicher Maßnahmen ist vor allem die *Risikoanalyse*, bestehend aus Risikoidentifizierung und Risikobewertung von Bedeutung. Als größte Kalamitäten verursachende Risiken in Fichtenbeständen wurden bereits Wind, Schnee und Insektenbefall identifiziert⁹⁶. Deren Bewertung (Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadereignisses und potenzielles Schadensausmaß) ist Gegenstand verschiedener Schadensmodelle, die schon ausführlich in Kap. 4.1.1.4. beschrieben wurden. Zur konkreten Quantifizierung des Risikos werden in der Regel Übergangswahrscheinlichkeiten von Beständen bestimmter Altersklassen in die nächste Altersklasse hergeleitet. Solche Übergangswahrscheinlichkeitskurven für Fichte finden sich z.B. bei MÖHRING⁹⁷ (1986), STRÜTT (1991), Kö-

⁹⁶ Ein weiterer wichtiger Faktor wäre ggf. noch Fäule (erhöht den Schadanfall bei Wind- und Schneebelastung und verringert die Holzqualität).

⁹⁷ Möhring (1986) und Kouba (2002) verwendeten Markow-Ketten, ein Verfahren das von SUZUKI (1983) eingeführt wurde.

NIG⁹⁸ (1995, 1996, 1999), MAI (2000), DIETER (2001), Müller (2002), KOUBA (2002), HANEWIN-KEL und HOLCEY (2005, 2006)⁹⁹, BEINHOFER (2007, 2008) sowie KNOKE und SEIFERT (2008). Eine ausführliche Literaturanalyse zur Berücksichtigung von Risiko in der forstlichen Literatur bis zum Jahr 2000 findet sich auch bei MAI (2000).

Ein weiteres Risiko finanzieller Art besteht in den schwankenden Holzpreisen. Dieses Risiko wird in der Betriebswirtschaft für gewöhnlich durch die Streuung (Standardabweichung) der erwarteten Erträge quantifiziert (PFLAUMER 1998).

Hinsichtlich der *Risikohandhabung* ist hier vor allem die Risikoprävention und die Risikominderung von Interesse: nämlich das Herabsetzen der Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. die Minderung der Schadenshöhe. Sämtliche in Kapitel 4 genannten Studien zur Erhöhung der Resistenz können in diesem Zusammenhang als Studien zur Risikoprävention angesehen werden, Studien zur Erhöhung der Elastizität als solche zur Risikominderung. Ein großes Forschungsdefizit besteht allerdings noch bei der Quantifizierung des Erfolges von stabilisierenden Eingriffen. Inwieweit durch diese Maßnahmen die Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten konkret gesenkt werden, ist oft noch nicht bekannt.

Die *Kontrolle des Risikomanagements* soll hier nicht Gegenstand der Untersuchung sein.

5.2 Material und Methoden

Zur Beantwortung der im finanziellen Bereich gestellten Forschungsfragen wurde folgendermaßen vorgegangen: Aus den in der Feldstudie erhobenen Bestandesdaten wurden zwei Wuchsreihen erzeugt, anhand derer die Handlungsoptionen „behandeln“ und „nicht behandeln“ verglichen werden sollten. Zunächst wurden für beide Optionen unter Annahme verschiedener Holzernteverfahren Deckungsbeiträge und Kapitalwerte ohne Berücksichtigung von Risiko berechnet. Dieses wurde im Folgenden via Sensitivitätsanalyse und Risikoanalyse in die Berechnungen integriert. Mit Anwendung der $\mu - \sigma$ -Regel und Kalkulation der stochastischen Dominanz (erster und zweiter Ordnung) wurden schließlich zwei objektive Kriterien aus der Investitionsrechnung eingesetzt, um Entscheidungen hinsichtlich der finanziellen Vorteilhaftigkeit einer der beiden Varianten zu treffen. Zuletzt wurden die Aufwendungen für einen ggf. durchzuführenden zusätzlichen Pflegeeingriff im Jugendstadium kalkuliert und mit den finanziellen Vorteilen einer dadurch verringerten Ausfallwahrscheinlichkeit verglichen.

⁹⁸ Anhand von Sturmschadensdaten von 1990 mittels logistischer Regression berechnet.

⁹⁹ Mittels digitalisierter Forstkarten und Kalamitätsaufzeichnungen entwickelt.

5.2.1 Bewertungsgrundlagen

5.2.1.1 Datengrundlage

Für die Berechnungen wurden die in der Feldstudie erhobenen Daten verwendet. Die Daten einer zusätzlich aufgenommenen Parzelle¹⁰⁰, die mangels altersmäßiger Vergleichbarkeit in der naturalen Auswertung nicht verwendet werden konnten, gingen in die finanziellen Auswertungen mit ein. Nachdem diese Parzelle etwas älter war, konnte sie zur Absicherung des oberen Altersrahmens in der unbehandelten Wuchsreihe eingesetzt werden.

5.2.1.2 Auszahlungen

Die für die Kalkulationen nötigen Holzerntekosten¹⁰¹ wurden bei vier Revierförstern von verschiedenen Gebirgsforstbetrieben und einem Servicestellenleiter abgefragt und gemittelt (Tab. 5.1). Dabei wurden für die unterschiedlichsten Erschließungssituationen folgende sechs Ernteverfahren zu Grunde gelegt:

- Harvestereinschlag und Bringung mittels Forwarder („Harvester“)
- Ein kombiniertes Ernteverfahren wie bei HABERL et al. (2006) beschrieben: Motormanuelle Fällung im Bestand, Vorrücken zum Rückeweg mittels Schlepper, dort Aufarbeitung durch Harvester, anschließende Rückung zur Forststraße mit Forwarder („Kombiniert“)¹⁰²
- Konventionelles motormanuelles Verfahren mit Schlepperrückung („Schlepper“)
- Vollbaumbringung mit Seilkran („Vollbaum“)
- Motormanuelle Aufarbeitung und Bergaufseilung („Seil bergauf“)
- Motormanuelle Aufarbeitung und Bergabseilung („Seil bergab“)

Sämtliche Zahlungen wurden ohne Mehrwertsteuer kalkuliert, da inzwischen viele Forstbetriebe einen so hohen Unternehmereinsatz haben, dass sich für sie das Optieren für die Regelbesteuerung rechnet. Im Falle der Regelbesteuerung ist die Mehrwertsteuer ein erfolgsneutraler Durchlaufposten, der nicht zu Buche schlägt (BORCHERS 1997).

¹⁰⁰ Interne Bezeichnung „142“.

¹⁰¹ Streng genommen handelt es sich hierbei nicht um Kosten, sondern um Auszahlungen. Es werden hier aber die im forstlichen Bereich gebräuchlichen Termini wie „Erntekosten“ und „Holzpreise“ verwendet.

¹⁰² Dieses Verfahren wurde vom Revierförster der Forstdienststelle Laubau, Franz Obermayer, in Zusammenarbeit mit der dortigen ehemaligen Waldarbeiterschule entwickelt und wird deshalb auch als „Laubauer Verfahren“ bezeichnet (HABERL et al. 2006).

Tab. 5.1: Holzerntekosten für sechs Ernteverfahren [€/Efm=Erntefestmeter]

Sortiment	Harvester	Kombiniert	Schlepper	Vollbaum	Seil bergauf	Seil bergab
IL/IS	25	32	47	70	70	80
1a	17	32	47	70	70	80
1b	17	32	42	50	60	70
2a	14	25	36	30	50	57
2b	14	25	31	30	45	50
3a	14	25	27	30	43	37
3b	12	22	25	28	40	44
4a	12	22	23	28	37	40
4b	12	22	21	26	37	40
5a	12	22	19	26	35	38
5b	12	22	18	26	35	38

Auch wenn im Gebirge häufig mit Naturverjüngung gearbeitet wird, wurden für die Berechnung der Kapitalwerte fiktive Bestandesbegründungsmaßnahmen angenommen. Dabei wurde eine extensive Maßnahme mit Pflanzung von 2000 Stück/ha veranschlagt. Die Kosten je Pflanze inkl. Pflanzung wurden aus den Angaben der Revierförster auf 1,35 € gemittelt.¹⁰³ Es ergaben sich somit Kulturkosten in Höhe von 2700,- €/ha (Tab. 5.2).

In der erwähnten Umfrage wurden auch die ungefähren Kosten für eine frühe Jugendpflege zur besseren Differenzierung der Fichte und zum Erhalt von Mischbaumarten abgefragt. Die genannten Werte wiesen eine relativ große Spreitung von 300,- bis 1200,- €/ha auf, wobei Eingriffe in der reinen Fichte geschätzt wurden, da solche Maßnahmen in der Praxis kaum durchgeführt werden. Die Aufwendungen für die Jugendpflege wurden gutachtlich auf 650,- €/ha festgesetzt, was beim Einsatz von eigenen Waldarbeitern etwa einem zeitlichen Aufwand von 20 Stunden/ha entspricht.

Tab. 5.2: Kosten für Bestandesbegründung und Jugendpflege

Maßnahme	Mittelwert	Standardabweichung
Bestandesbegründung	2700,- €/ha	235,- €/ha
Jugendpflege	650,- €/ha	347,- €/ha

¹⁰³ Es wurden unterschiedliche Angaben für Buche, Tanne, Lärche und Fichte gemacht. Aus Vereinfachungsgründen wurden aber keine unterschiedlichen Kulturkosten eingesetzt.

5.2.1.3 Einzahlungen

Die Holzpreise und eine durchschnittliche Güteklassenaufteilung wurden nach derselben Methode erhoben, wie die Holzerntekosten. Gerade die Verteilung der Güteklassen kann stark variieren. Wenn ein Bestand stark geschält wurde, ergeben sich entsprechend höhere D-Holz-Anteile oder höhere Industrieholz F/K-Anteile (F/K=faul/krank).¹⁰⁴ Es wurde hier aber aus Zeitgründen darauf verzichtet, unterschiedliche Varianten zu berechnen und von einer durchschnittlichen Verteilung von 78% B/C-Qualität und 22% D-Qualität im Stammholzbereich ausgegangen. Das Industrieholz wurde zu 50% als N (normal) und zu 50% als F/K gewertet. Tab. 5.3 zeigt die Güteklassenaufteilung und Tab. 5.4 die Original-Holzpreise sowie die Holzpreise, bei denen im Stammholz die D-Holz-Anteile bereits eingerechnet und beim Industrieholz die Qualitäten verrechnet wurden.

Tab. 5.3: Güteklassenverteilung

Güteklasse	Stammholz
B/C-Qualität	78%
D-Qualität	22%
Güteklasse	Industrieholz
IL-N	50%
IL-F/K	50%

Die erhobenen Preise stimmen relativ gut mit mittleren Holzpreisen überein, die BEINHOFER (2007, 2008) aus den Holzpreisstatistiken der Bayerischen Staatsforstverwaltung von 1974 bis 2003 exzerpierte. Dort ergab sich ein mittlerer Holzpreis für das Leitsortiment L2b in Höhe von 70 €/fm. Dieser Untersuchung wurde auch die zugehörige Standardabweichung für die Holzpreise entnommen. Bei einer Standardabweichung von ca. 16 €/fm für das Stammholz und 8,50 €/fm für das Industrieholz sowie einer geschätzten Verteilung Stammholz/Industrieholz von 90%/10% ergab sich eine mittlere Standardabweichung von 14,50 €/fm.

¹⁰⁴Abschnitte, die offenen Hirschfraß aufweisen, können oft nicht einmal mehr als D-Holz abgesetzt werden und müssen in das Industrieholz F/K sortiert werden.

Tab. 5.4: Verwendete Durchschnittspreise nach Güte und Stärkeklassen ohne MwSt. [€/Efm].

Sortimente	Erlöse ohne MwSt., Originalwerte	Mittlere Erlöse ohne MwSt., D-Holz-Anteil eingerechnet
Fi-SL-B/C-1a	41 €	41 €
Fi-SL-B/C-1b	62 €	60 €
Fi-SL-B/C-2a	72 €	68 €
Fi-SL-B/C-2b	75 €	71 €
Fi-SL-B/C-3a	75 €	71 €
Fi-SL-B/C-3b	75 €	71 €
Fi-SL-B/C-4a	75 €	71 €
Fi-SL-B/C-4b	75 €	71 €
Fi-SL-B/C-5+	75 €	71 €
Fi-SL-D	55 €	
Fi-IL-N	35 €	32 €
Fi-IL-F/K	30 €	

Treten Schadereignisse ein, erzielen die Forstbetriebe erfahrungsgemäß deutlich geringere Holzpreise aufgrund von gebrochenen oder geworfenen Stämmen, bzw. als „Käferholz“. Dazu kommt unter Umständen ein Preisverfall, der zumindest im Gefolge von größeren Schadereignissen eintritt. Die Holzerntekosten sind im Schadensfall umgekehrt oft deutlich höher. Einerseits wegen erschwerten Arbeitsbedingungen, andererseits ergeben sich nach Großschadereignissen auch höhere Marktpreise aufgrund begrenzter Erntekapazitäten. DIETER (1997) berücksichtigte dies, indem er die erzielten Deckungsbeiträge halbierte. Auch KNOKE und WURM (2006) verwendeten diesen Reduktionssatz. In der vorliegenden Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass sich die Deckungsbeiträge im Schadensfall im Gebirge tendenziell noch stärker reduzieren als im Flachland. Gerade verstreuter Holzanfall stellt im Gebirge noch ein deutlich größeres Problem dar. Deshalb wurden hier bei Schäden die Holzpreise um 50% reduziert, während die Erntekosten in vollem Umfang beibehalten wurden.

5.2.1.4 Sortierung der Holzsortimente

Die Sortierung der auf den Parzellen stehenden Vorräte sowie der rekonstruierten Entnahmemassen wurde mit dem Programm „BDAT“ der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (KUBLIN und SCHARNAGL 1988) durchgeführt. Zur Sortierung ganzer Klupplisten in einem einzigen Arbeitsschritt wurde die von FELBERMEIER (2007) am Karl Gayer

Institut München entwickelte Programmroutine „Holzsortierung“ verwendet, welche direkt auf BDAT aufgesetzt ist.¹⁰⁵

Folgende Sortierkriterien wurden zu Grunde gelegt: Nachdem das Fichtenholz im Gebirge größtenteils in Fixlängen (Stammabschnitte mit einer festgelegten Länge) aufgearbeitet wird, wurden im Stammholz keine Sondersortimente ausgeschieden, sondern nur Fixlängen von 4 m Länge ausgehalten. Als Übermaß wurden die üblichen 10 cm veranschlagt. Der Mindestzopfdurchmesser (Zopf = oberes Ende des Abschnittes) wurde für die Fixlängen auf 12 cm über Rinde festgelegt. Das restliche nutzbare Holzvolumen wurde als Industrieholz ausgeschieden. Zur Festlegung der Aufarbeitungsgrenze wurden die Holzernteverfahren in zwei Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe mit höher mechanisierteren Verfahren („Harvester“, „Kombiniert“ und „Vollbaum“) und eine Gruppe mit Verfahren, die größere manuelle Anteile aufweisen („Schlepper“, „Seil bergauf“ und „Seil bergab“). Für die erste Gruppe wurde die Aufarbeitungsgrenze auf 7 cm unter Rinde festgeschrieben. Für die zweite Gruppe, bei der die Gipfelstücke oft aus Rentabilitätsgründen nicht aufgearbeitet werden, setzte man die Aufarbeitungsgrenze bei 10 cm unter Rinde an.

5.2.1.5 Erstellung von Wuchsreihen und regressionsanalytischer Ausgleich

Die Erstellung von Wuchsreihen ist eine bewährte Methode, um ein zeitliches Nacheinander (=Zeitreihe) durch ein räumliches Nebeneinander abzubilden (PICKETT 1989, PRETZSCH 2002). Man bezeichnet Wuchsreihen deshalb auch als „unechte Zeitreihen“. In Ermangelung von Dauerversuchsflächen können so zeitliche Entwicklungen aufgezeigt werden, indem man mit vergleichbaren nebeneinander liegenden Parzellen unterschiedlichen Alters den gesuchten Betrachtungszeitraum abdeckt.

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei solcher Wuchsreihen erstellt: eine für die unbehandelten Bestände, eine für die behandelten Bestände und eine für die im Rahmen der Behandlungen entnommenen Massen. Auf diese Weise wurden sowohl die vorratsmäßigen als auch die wertmäßigen Entwicklungen (Abtriebswerte bzw. Durchforstungserlöse) abgebildet.

Für jede Entwicklungsreihe standen neun Einzelwerte zur Verfügung, die mittels Regressionsgleichungen ausgeglichen wurden. Die nötigen Voraussetzungen wurden wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben mittels visueller Residualanalyse durchgeführt. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl wurde zur Testung der Normalverteilungsannahme der Shapiro-Wilk-Test

¹⁰⁵ In BDAT müssen normalerweise alle Stämme einzeln eingegeben werden.

angewandt, der für kleine Stichprobenzahlen prädestiniert ist. Bei der Auswahl der geeigneten Transformation wurde das Hauptaugenmerk nicht auf die Residualanalyse gelegt, sondern auf biologische Plausibilität der entstehenden Vorratsentwicklungskurven. Die Plausibilität wurde zusätzlich überprüft, indem die Resultate mit Kurven verglichen wurden, die sich ergeben, wenn man die Werte der Vorläufigen Fichtenertragstafel von ASSMANN und FRANZ (1963) verbindet.

5.2.2 Deterministische Bewertungsmethoden

5.2.2.1 Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode ist ein dynamisches Verfahren aus der Investitionsrechnung. Sie kann zum einen dazu eingesetzt werden, um die absolute Vorteilhaftigkeit einer Investition festzustellen. Dabei wird die Investition mit einer fiktiven Alternativinvestition verglichen, die sich mit einem festgesetzten Kalkulationszinsfuß verzinst. Ist der Kapitalwert größer Null, ist die Investition vorteilhaft. Zum anderen kann die Methode angewandt werden, um die relative Vorteilhaftigkeit einer Investition gegenüber einer zweiten Investition festzustellen. Hierbei werden die Kapitalwerte beider möglichen Investitionen miteinander verglichen (KATO 1986, HEIDINGSFELDER und KNOKE 2004, VAHS und SCHÄFER-KUNZ 2005). Vorteilhafter ist dann die Investition mit dem höheren Kapitalwert. Letztere Variante ist gut dazu geeignet, die beiden Handlungsoptionen „Behandeln“ und „Nicht behandeln“ miteinander zu vergleichen.

Der Kapitalwert wird gebildet, indem die Einzahlungsüberschüsse einzelner Perioden (=Differenz der Ein- und Auszahlungen der jeweiligen Periode) und der Liquidationswert auf den Zeitpunkt der Anschaffungsauszahlung abgezinst (diskontiert) werden. Nach WÖHE (2005) lautet die Formel zur Berechnung des Kapitalwertes:

$$K = -A_0 + \sum_{t=1}^n (E_t - A_t) \cdot (1+i)^{-t} + L_n (1+i)^{-n} \quad (5.1)$$

K = Kapitalwert

A_0 = Anschaffungsauszahlung (hier: Kulturkosten)

A_t = Auszahlung zum Zeitpunkt t

E_t = Einzahlung zum Zeitpunkt t

L_n = Liquidationswert (hier: Abtriebswert)

i = Kalkulationszinsfuß (in Hundertstel)

t = Zeitpunkt der jeweiligen Aktion nach Bestandesbegründung

n = Nutzungsdauer (hier: Umtriebszeit)

Die Formel kann auch verkürzt werden, indem die Anschaffungsauszahlung unter A_t und der Liquidationswert unter E_t subsumiert werden.

$$K = \sum_{t=1}^n (E_t - A_t) \cdot (1+i)^{-t} \quad (5.2)$$

Im Falle der unbehandelten Variante ohne Risikobetrachtung setzt sich der Kapitalwert nur aus den Kulturkosten und dem diskontierten Abtriebswert zum Ende der Umtriebszeit zusammen. Die Umtriebszeit wurde für beide Behandlungsvarianten auf 100 Jahre festgelegt, da die Wuchsreihen nur bis etwa 90 Jahre mit Daten untersetzt waren. Die Verwendung einer längeren Umtriebszeit, wie sie im Gebirge durchaus üblich ist, hätte unsicherer Extrapolationen der Wuchsreihen bedurft.

Im Falle der behandelten Variante ohne Risikobetrachtung wurden neben der Auszahlung für die Bestandesbegründung und dem Abtriebswert Ein- und Auszahlungen für Durchforstungen im Alter 40, 60 und 80 unterstellt.

Über die geeignete Zinsforderung für Waldbestände wurde schon viel und kontrovers diskutiert. In der Regel werden verhältnismäßig niedrige Zinssätze angesetzt, die sich an den Volumenzuwachsprozenten der Bestände orientieren (WILLIAMS 1981). Übereinstimmend mit KNOKE et al. (2005) wurde hier ein Zinssatz von 0,02 gewählt.¹⁰⁶ Investitionen in Waldbestände trotz dieser relativ geringen Verzinsung werden häufig mit der verhältnismäßig hohen Inflationssicherheit begründet (DIETER 1997).

5.2.2.2 Annuitätenmethode

Bei der Annuitätenmethode – auch „laufende Finanzaufwands-Rechnung“ genannt – werden die in unterschiedlicher Höhe anfallenden Ein- und Auszahlungen einer Investition gleichmäßig jährlich so verteilt, dass ihr Kapitalwert dem Kapitalwert der tatsächlichen Zahlungsreihe entspricht (KATO 1986, S. 73). In der Investitionsrechnung spricht man von einer gleich bleibenden nachschüssigen Periodenzahlung, auch als Annuität oder Rente bezeichnet (WÖHE 2005). Die Annuität erhält man, indem man den Kapitalwert mit dem Annuitätenfaktor (oder Kapitalwiedergewinnungsfaktor) multipliziert (VAHS und SCHÄFER-KUNZ 2005, WÖHE 2005).

¹⁰⁶ Dort sind auch weitere Literaturstellen genannt, die für niedrige Zinssätze bei derart langen Verzinsungszeiträumen stehen.

$$a = K \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5.3)$$

- a = Annuität
 K = Kapitalwert
 i = Kalkulationszinsfuß (in Hundertstel)
 n = Nutzungsdauer (hier: Umtriebszeit)

Beim Vergleich zweier Investitionen ist analog der Kapitalwertmethode die Investition zu bevorzugen, welche die höheren Annuitäten aufweist.

Die Annuitäten vermitteln dem Investor (Waldbesitzer) eine Größe, die er vielfach als verständlicher und seiner Denkwelt vertrauter empfindet als einen Kapitalwert (KATO 1986). Deshalb wurden die Annuitäten als anschauliche Größen zusätzlich zu den Kapitalwerten berechnet. Zur Beurteilung der beiden Varianten wurden aber alleine die Kapitalwerte herangezogen.¹⁰⁷

5.2.3 Stochastische Bewertungsmethoden

Fast alle Investitionen im Forstbereich werden sehr langfristig angelegt und unterliegen deshalb in besonderem Maße Unsicherheiten. Auch bei der finanziellen Beurteilung waldbaulicher Behandlungsvarianten müssen künftige Unsicherheiten berücksichtigt werden. So können sich beispielsweise die Holzpreise oder die Holzerntekosten ändern. Auch unterschiedliche Zinsforderungen könnten die Entscheidung für die eine oder andere Variante beeinflussen. Große Unsicherheit ist weiterhin durch verschiedene Kalamitätsrisiken gegeben. Deterministische Bewertungsverfahren wie die Kapitalwert- und die Annuitätenmethode berücksichtigen solche Risiken nicht und unterstellen völlige Sicherheit hinsichtlich künftiger Zahlungsströme (PFLAUMER 1998). Dagegen sind stochastische Bewertungsmethoden wie die Sensitivitätsanalyse und die Risikoanalyse geeignet, diese Risiken beispielsweise anhand von Wahrscheinlichkeitsverteilungen aufscheinend zu machen und in die Bewertung mit einzubeziehen.

5.2.3.1 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse ist die einfachste Methode zur Berücksichtigung von Risiken bei der Investitionsentscheidung. Man prüft dabei, wie sensibel Deckungsbeiträge oder Kapitalwerte

¹⁰⁷ Weiterhin hätten die Annuitäten gegenüber den Kapitalwerten den theoretischen Vorteil, dass anhand dieser Werte auch Investitionen unterschiedlicher Nutzungsdauer verglichen werden können (HEIDINGSFELDER und KNOKE 2004). Dies war hier jedoch nicht relevant, da für beide Handlungsalternativen dieselbe Umtriebszeit angesetzt wurde.

reagieren, wenn man bestimmte Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Holzpreise bei der Berechnung variiert (KLEMPERER 1996). PFLAUMER (1998) unterscheidet das Verfahren der Kritischen Werte, die Reagibilitätsanalyse und die Bandbreitenanalyse. Mit dem ersten Verfahren wird untersucht, ab welcher Veränderung einer Einflussgröße die Zielgröße (hier der Kapitalwert) unter einen kritischen Wert (z.B. Null) fällt. Im Rahmen der Reagibilitätsanalyse werden die Einflussfaktoren um einen bestimmten Prozentsatz verändert, um die Reaktion der Zielgröße zu prüfen. Die Bandbreitenanalyse ist letzterem Verfahren recht ähnlich. Allerdings werden die Einflussgrößen nicht prozentual variiert, sondern es wird eine mittlere, eine optimistische und eine pessimistische Schätzung für die Größe abgegeben und in die Berechnung eingesetzt. Daraus resultiert die Bandbreite, innerhalb derer sich die Zielgröße vermutlich bewegt.

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Verfahren der kritischen Werte angewendet, indem folgende Einflussfaktoren schrittweise in kleinen Intervallen variiert wurden:

- Holzerntekosten
- Holzerntekosten und Holzpreise
- Zinsforderung

Die Werte wurden grafisch in Kurven für beide Handlungsoptionen aufbereitet. Den resultierenden Grafiken kann man einerseits entnehmen, ab welchem Wert der Einflussgrößen Deckungsbeiträge bzw. Kapitalwerte von Null und darunter entstehen. Andererseits zeigen potenzielle Schnittpunkte der Kurven für beide Varianten an, ob sich die Rangfolge der Vorteilhaftigkeit mit veränderlichen Einflussgrößen verschiebt.

Bei der Sensitivitätsanalyse mit den zwei Inputgrößen (Holzerntekosten und Holzpreise) ergibt sich kein einzelner kritischer Wert, sondern eine Linie aus kritischen Kombinationen. Wertekombinationen unterhalb dieser Linie führen zu positiven Kapitalwerten, Wertekombinationen darüber zu negativen. So kann auch die Wirkung gegenläufiger Trends, wie beispielsweise steigende Holzpreise bei sinkenden Holzerntekosten geprüft werden.

Die Sensitivitätsanalyse ist zwar nicht dazu geeignet, Entscheidungsprobleme unter Unsicherheit abschließend zu lösen. Aber sie zeigt auf, ob die Unsicherheit für die Lösung des Entscheidungsproblems bedeutungsvoll ist (KRUSCHWITZ 2005). Schwankt beispielsweise der Kapitalwert bei geänderten Holzerntekosten kaum, so sind Unsicherheiten der Erntekosten nicht relevant. Schwankt er aber sehr stark, so muss besonderes Augenmerk auf diese Kosten gelegt werden.

5.2.3.2 Risikoanalyse mittels Monte-Carlo-Simulation

Die Risikoanalyse stellt eine umfassendere Möglichkeit zur Berücksichtigung von Unsicherheiten bei Investitionen dar. Hierbei werden aus den kombinierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Einflussgrößen die summarischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder zumindest charakterisierende Kennzahlen wie Erwartungswert und Standardabweichung der Zielgröße abgeleitet (PFLAUMER 1998). Auch naturale Risiken können in Form von Überlebenswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. 5.1.2.) einbezogen werden. Die Risikoanalyse kann entweder analytisch oder mittels Computersimulationen erfolgen. Im Rahmen sogenannter Monte-Carlo-Simulationen (MCS) macht man sich das Gesetz der großen Zahlen zu Nutze und generiert die Kapitalwerte mit zufällig veränderten Einflussgrößen so häufig, bis sich stabile Verteilungen ergeben. Die zufällige Veränderung der Einflussgrößen folgt dabei deren geschätzter Wahrscheinlichkeitsverteilung.

Die Monte-Carlo-Methode wurde in den 1940er Jahren von den Physikern Stanislaw Ulam, John von Neumann, Nicholas Metropolis und Enrico Fermi entwickelt, die im Los Alamos National Laboratory an der Entwicklung von Nuklearwaffen arbeiteten (METROPOLIS und ULAM 1949, METROPOLIS 1987, HOFFMAN 1998, WITTEW 2004). Sie simulierten dabei die Wechselwirkungen von Neutronen mit Materie. Nachdem bei dieser Methode mit Zufallszahlen gearbeitet wird, wurde sie in Anlehnung an die Roulette-Spiele von Ulams Onkel nach dem Casino in Monte Carlo benannt. In den Finanzbereich wurde sie in den 1960er Jahren beispielsweise durch HESS und QUIGLEY (1963) und vor allem durch HERTZ (1964) übertragen. Auch im ökologischen (z.B. WALLER et al. 2003) und forstlichen Bereich wird diese Technik angewandt (KLEMPERER 1996, 2001, DIETER 2001, KNOKE 2004b, c, HEIDINGSFELDER und KNOKE 2004, KNOKE und MOSANDL 2004, KNOKE et al. 2005, KNOKE und WURM 2006, MERCER et al. 2007).

KRUSCHWITZ (2005) gliedert den Ablauf der simulationsgestützten Risikoanalyse in folgende sechs Punkte und hält sich dabei relativ genau an die von HERTZ (1964) beschriebene Einteilung:

1. Auswahl der als unsicher angesehenen Inputgrößen.
2. Schätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die unsicheren Inputgrößen.

3. Generierung der Eingabedaten: Erzeugen von Pseudo-Zufallszahlen¹⁰⁸ nach vorgegebener Wahrscheinlichkeitsverteilung und Verrechnung dieser mit den Inputgrößen.
4. Berechnung der den Investor interessierenden Outputgröße (hier: Kapitalwerte) auf Grundlage der in Schritt 3 generierten Eingabedaten.
5. Wiederholung der Schritte 3 und 4 bis sich die Verteilung der Zielgröße stabilisiert hat.
6. Ermittlung der relativen Häufigkeiten der Outputgröße: diese entsprechen näherungsweise der gesuchten Wahrscheinlichkeitsverteilung.

Die genannten sechs Schritte wurden in der vorliegenden Untersuchung folgendermaßen umgesetzt:

Als unsicher angenommene Inputgrößen gingen die Kulturkosten, die Holzpreise und die Überlebenswahrscheinlichkeiten ein. Eine Änderung der Holzerntekosten wurde nicht in die Analyse integriert, da mehrere Simulationen mit Ernteverfahren unterschiedlicher Kostenintensität durchgeführt wurden. Auch die Vorratsentwicklung der Bestände und die Entnahmesätze wurden nicht variiert. Dies geschah zum einen, um das Modell nicht zu kompliziert zu gestalten. Zum anderen stellte sich heraus, dass die Streuungen¹⁰⁹ der Vorratsentwicklung in den behandelten und in den unbehandelten Beständen auf sehr ähnlichem Niveau lagen.

Für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Kulturkosten und Holzpreisen wurden zufällige Werte basierend auf einer Normalverteilung mit den vorstehenden Mittelwerten und Standardabweichungen (Abschnitt 5.2.1.2.) erzeugt. Zur Integration der Ausfallwahrscheinlichkeit wurde eine Binomialverteilung mit den Nummern 0 und 1 erzeugt. Dabei stand 0 für den Eintritt eines Schadens und 1 für das Überleben. Mögliche Schadenseintritte wurden zu den Zeitpunkten 20, 40, 60, 80, und 100 simuliert.

Zur Festlegung der p-Werte für die Binomialverteilungen wurden zwei verschiedene Überlebenswahrscheinlichkeitskurven verwendet (Abb. 5.1). Zum einen wurde die Sturmschadenskurve von KÖNIG (1996) für das Wuchsgebiet 14 in Bayern verwendet, welches relativ alpennah ist. Die Risiken von Schneebruch- und Insektenkalamitäten wurden nach der Methode von BRÄUNIG und DIETER (1999) ergänzt. Dazu wurden aus langjährigen Kalamitätsaufzeich-

¹⁰⁸ Echte Zufallszahlen würden sich bei „echten“ Zufallsprozessen wie dem Zerfall einer radioaktiven Quelle oder thermischem Rauschen ergeben. Dabei ergäben sich aber instrumentelle Probleme und nicht genügend Zufallszahlen in begrenzter Zeit. Deshalb verwendet man Pseudo-Zufallszahlengeneratoren, die in vielen Computerprogrammen enthalten sind (KARCH und NEUMANN 2007).

¹⁰⁹ Mit „Streuung“ ist hier wie im Folgenden die Standardabweichung gemeint.

nungen die mittleren Anteile von Sturm, Schnee, und Insektenschäden abgeleitet.¹¹⁰ Die Schadenswahrscheinlichkeiten nach KÖNIG (1996) wurden dann um die Schnee- und Insektenschadensanteile erhöht. Nachdem die Überlebenskurven von KÖNIG (1996) verhältnismäßig optimistisch ausfallen, wurde eine weitere Variante mit höherem Risiko gerechnet. Bei dieser Variante wurde die Überlebenskurve für hohes Risiko von BEINHOFER (2007, 2008) verwendet. BEINHOFER wertete Überlebenskurven aus verschiedenen Studien aus und leitete davon eine Kurve für mittleres und eine für hohes Risiko ab.¹¹¹

Die modifizierte Überlebenswahrscheinlichkeitskurve nach KÖNIG (1996) wird im Folgenden mit „Risiko moderat“ bezeichnet, die Überlebenskurve nach BEINHOFER (2007, 2008) mit „Risiko erhöht“.

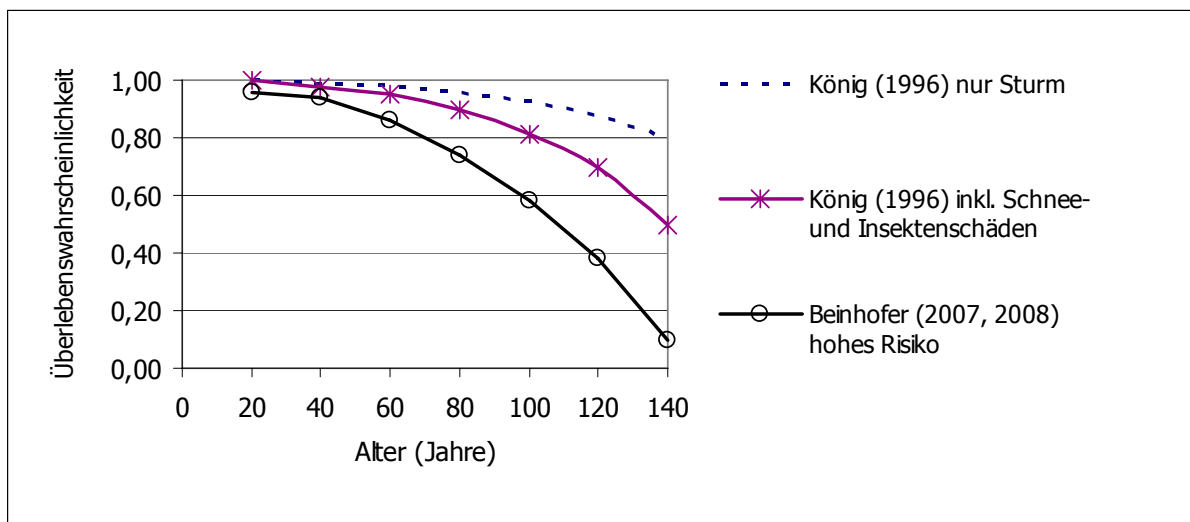


Abb. 5.1: Verwendete Überlebenswahrscheinlichkeitskurven nach KÖNIG (1996) (Schnee- und Insektenschäden nach der Methode von BRÄUNIG und DIETER (1999) ergänzt) und nach BEINHOFER (2007, 2008)

Die Anwendbarkeit der gewählten Überlebenswahrscheinlichkeitskurven wurde überprüft, indem die tatsächlichen Schadholtzanfälle an den Untersuchungsorten mit den aus den Überlebenskurven prognostizierten Schadholtzanfällen verglichen wurden. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Den Aufzeichnungen der ehemaligen Bayerischen Staatsforstverwaltung wurden die zwangsbedingten Einschläge (ZE) und die Gesamteinschläge für die drei Untersuchungsforstämter

¹¹⁰ Hierzu wurden die Aufzeichnungen der ehem. Bayerischen Staatsforstverwaltung für die zwangsbedingten Einschläge (ZE) in drei Untersuchungsforstämtern von 1990 bis 2003 verwendet.

¹¹¹ Die Problematik, dass hier für behandelte und unbehandelte Bestände dieselben Überlebenskurven verwendet werden mussten, wird in der Diskussion aufgegriffen.

entnommen (Zeitraum 1990-2003). Daraus wurde für jedes Untersuchungsforstamt ein mittlerer jährlicher ZE-Anteil errechnet.

Dann wurden die ZE-Anteile anhand der Überlebenskurven geschätzt. Dazu wurden zunächst den Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung die Vorräte der Fichtenbestände in den Untersuchungsforstämtern nach Altersklassen¹¹² entnommen.

Aus den Überlebenskurven wurden für jede Altersstufe spezifische Ausfallwahrscheinlichkeiten errechnet. Die Ausfallwahrscheinlichkeit in der Altersklasse II (Alter 20 bis 40) errechnet sich beispielsweise wie in Formel 5.4 angegeben.

$$a_{AKL_{II}} = \frac{\dot{U}W_{20} - \dot{U}W_{40}}{\dot{U}W_{20}} \quad (5.4)$$

$a_{AKL_{II}}$ = Ausfallwahrscheinlichkeit in der Altersklasse II

$\dot{U}W_{20}$ = Überlebenswahrscheinlichkeit im Alter 20

Anhand der Ausfallwahrscheinlichkeiten wurden die Ausfälle in jeder Altersklasse errechnet, aufaddiert und zu einem jährlichen prognostizierten Schadh Holzanteil gemittelt. Dieser konnte mit dem tatsächlichen jährlichen ZE-Anteil aus der Statistik der Forstverwaltung verglichen werden.

Die restlichen Schritte der Simulation wurden analog den bei KRUSCHWITZ (2005) beschriebenen Schritten 4 bis 6 durchgeführt. Für die Berechnung der Kapitalwerte wurde wieder mit einer Umtriebszeit von 100 Jahren operiert.¹¹³ Um das Simulationsmodell relativ einfach zu halten, wurde jeder Simulationsgang nur einfach durchlaufen: wenn ein Bestand ausfiel, wurde also nicht berücksichtigt, dass an dieser Stelle gleich wieder ein neuer Bestand begründet werden könnte. Insgesamt wurden 24 Monte-Carlo-Simulationsreihen mit jeweils 5000 Wiederholungen durchgeführt (6 Ernteverfahren * 2 Überlebensszenarien * 2 Handlungsoptionen).

¹¹² Eine Altersklasse umfasst 20 Jahre.

¹¹³ Zur Problematik der längeren Umtriebszeiten im Gebirge siehe Kap. 5.2.2.1.

5.2.3.3 Beurteilung der Behandlungsoptionen anhand der $\mu - \sigma$ -Regel

Ein klassisches Entscheidungsprinzip um verschiedene Investitionen zu beurteilen, ist das μ -Prinzip, bei dem die Investitionen lediglich hinsichtlich des Erwartungswertes μ der Finanzrückflüsse verglichen werden. Nachdem die Investitionen aber oft mit unterschiedlichen Risiken verbunden sind, ist das μ -Prinzip nur dann sinnvoll, wenn man von Entscheidern ausgeht, die risikoneutral sind (BAMBERG und COENENBERG 2006). Sehr viele Anleger, auch im forstlichen Bereich, sind jedoch als risikoscheu einzustufen (OESTEN 1978). Gerade im Bergwald dürfte dies auf besonders viele Anleger zutreffen. Sie bewerten eine risikobehaftete Investition geringer als eine risikofreie Investition mit dem gleichen Erwartungswert. Damit sie eine Investition mit einem höheren Risiko tätigen, muss der Erwartungswert gegenüber dem Risiko überproportional zunehmen (DIETER et al. 2001, KRUSCHWITZ 2005). Das Risikoverhalten eines Anlegers kann durch so genannte Nutzenfunktionen charakterisiert werden.¹¹⁴ Dabei wird das Verhalten eines risikoscheuen Investors häufig durch eine negativ exponentielle Nutzenfunktion der folgenden Form beschrieben (HEIDINGSFELDER und KNOKE 2004, BAMBERG und COENENBERG 2006, KNOKE 2008):

$$U(Z) = 1 - e^{-\alpha \cdot Z} \quad (5.5)$$

$U(Z)$	=	Nutzen U einer Zahlung Z (bzw. Investition, die Zahlungen hervorruft)
e	=	Eulersche Zahl
α	=	Maß für die absolute Risikoaversion
Z	=	Zahlung (bzw. Investition)

Zur Verdeutlichung zeigt Abb. 5.2 den Verlauf zweier negativ exponentiellen Nutzenfunktionen von Anlegern mit normaler und hoher Risikoaversion. An der Kurve für normale Risikoaversion ist im Anhalt an HEIDINGSFELDER und KNOKE (2004) das so genannte Sicherheitsäquivalent gezeigt: Es wird unterstellt, ein Entscheidungsträger beurteile eine Investition, die entweder eine Einzahlung Z_1 in Höhe von 2000 Geldeinheiten (GE) oder eine Einzahlung Z_2 in Höhe von 6000 GE hervorruft. Bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,5 für beide Ereignisse ergibt sich ein Erwartungswert der Einzahlung $E(Z)$ von 4000 GE.

¹¹⁴ Die Verwendung von Nutzenfunktionen geht auf eine 250 Jahre alte Idee des Schweizer Mathematikers Daniel BERNOULLI (1738) (vgl. KRUSCHWITZ und KRUSCHWITZ 1996) zurück, der das Verhalten der Spieler beim „Petersburger Spiel“ (ein Glücksspiel mit Münzen) analysierte. Das Bernoulliprinzip geriet in Vergessenheit und wurde von John von NEUMANN und Oskar MORGENSTERN (1944, 1961) wieder entdeckt. Vgl. Kruschwitz (2005, S.307 ff.), Bamberg und Coenenberg (2006, S.81 ff.).

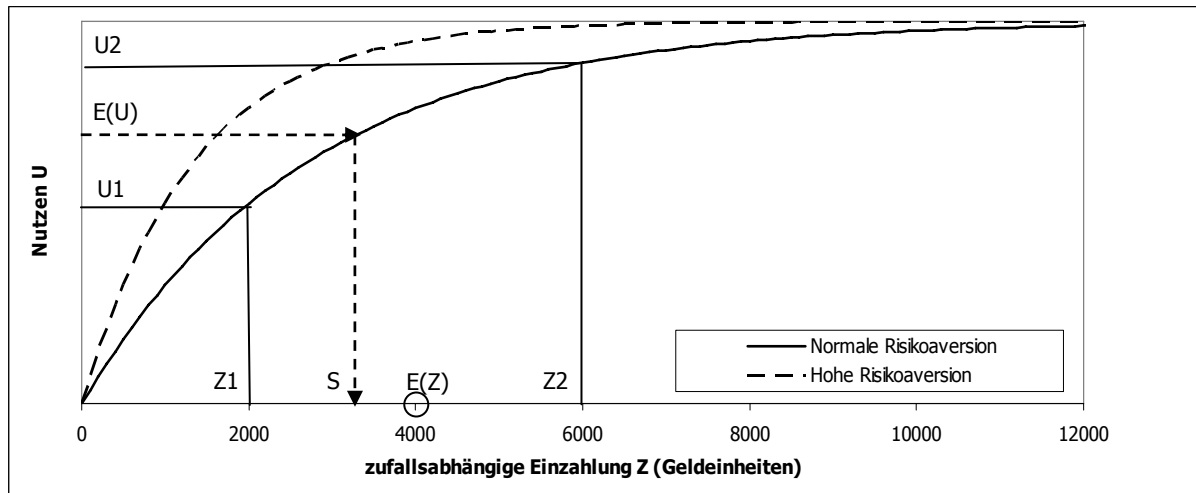


Abb. 5.2: Nutzenfunktionen für normale Risikoaversion ($\alpha = 1/2700$) und hohe Risikoaversion ($\alpha = 2/2700$)

Die Nutzenfunktion zeigt an, welche Nutzen U_1 und U_2 die Zahlungen Z_1 und Z_2 für den normal risikoscheuen Entscheider haben. Der Mittelwert zwischen den beiden Nutzen stellt den erwarteten Nutzen $E(U)$ dar. Diesem Wert kann im Umkehrschluss eine Einzahlung S zugeordnet werden (hier etwa 3300 GE). S stellt den Wert einer sicheren, risikofreien Einzahlung dar, die der Entscheidungsträger im Vergleich zu der analysierten unsicheren, also risikobehafteten Einzahlung $E(Z)$ als gleichwertig ansehen würde. Deshalb wird S als Sicherheitsäquivalent bezeichnet (ROBICHEK und MYERS 1966, KLEMPERER 2001). Je risikoaverser ein Entscheidungsträger ist, desto geringer schätzt er eine risikobehaftete Investition ein. Das Sicherheitsäquivalent liegt demnach noch weiter unter dem Erwartungswert $E(Z)$. Risikofreudige Anleger sehen dagegen in unsicheren Einzahlungen eher die Chance auf höhere Einzahlungen. Für sie liegt das Sicherheitsäquivalent einer unsicheren Einzahlung über dem Erwartungswert $E(Z)$.

Die Formel, welche den nutzenmäßigen Abschlag eines risikoscheuen Anlegers bei unsicheren Einzahlungen entsprechend der gezeigten negativ exponentiellen Nutzenfunktion quantifiziert, lautet folgendermaßen (z.B. GERBER und PAFUMI 1998):¹¹⁵

$$S = E(Z) - \alpha \cdot \frac{VAR(Z)}{2} \quad (5.6)$$

S = Sicherheitsäquivalent
 $E(Z)$ = Erwartungswert (μ)

¹¹⁵ Diese Formel gilt für relativ kleine α .

$$\alpha = \text{Maß für die absolute Risikoaversion}$$
$$VAR(Z) = \text{Varianz } (\sigma^2)$$

Nachdem diese Formel zur Beurteilung einer Investition den Erwartungswert (μ) und die Varianz (σ) der Investition benutzt, wird sie als Erwartungswert-Varianz-Kriterium (SPREMANN 1996) oder als $\mu - \sigma$ -Regel (MARKOWITZ 1952, WÖHE 2005, BAMBERG und COENENBERG 2006) bezeichnet.

Anhand dieser Regel wurden die beiden waldbaulichen Optionen „behandeln“ bzw. „nicht behandeln“ mittels der Erwartungswerte und Varianzen aus den Monte-Carlo-Simulationen beurteilt. Bei der Festlegung des Maßes für die absolute Risikoaversion α wurde in Anlehnung an DIETER et al. (2001), HEIDINGSFELDER und KNOKE (2004) und KNOKE et al. (2005) dem Vorschlag von SPREMANN (1996) gefolgt. SPREMANN (1996) zufolge liegt die absolute Risikoaversion α bei den meisten Menschen in der Größenordnung von $1/b$, wobei b das eingesetzte Vermögen darstellt. Als eingesetztes Vermögen sind im vorliegenden Fall die Kulturkosten in Höhe von 2700 € anzusehen. Der Wert im Zähler wird allgemein als relative Risikoaversion a bezeichnet. In der vorliegenden Studie wurden für die relative Risikoaversion zwei verschiedene Niveaus angesetzt. Einmal die von SPREMANN (1996) vorgeschlagene relative Aversion 1, und einmal ein höheres Aversionsniveau mit $a=2$. Demnach wurden für die Anwendung der $\mu - \sigma$ -Regel die zwei Risikoniveaus $1/2700$ und $2/2700$ verwendet, die auch schon bei der Nutzenfunktion in Abb. 5.2 eingesetzt wurden.

5.2.3.4 Beurteilung der Behandlungsoptionen anhand der Stochastischen Dominanz

Auch das Prinzip der stochastischen Dominanz ist bereits sehr alt. Laut LEVY (1992) veröffentlichte bereits KARAMATA (1932, zit. n. LEVY 1992) ein Theorem, das der stochastischen Dominanz zweiter Ordnung sehr ähnelt. Eingang in die Finanzwirtschaft erhielt das Prinzip der stochastischen Dominanz im Wesentlichen durch die Publikationen von QUIRK und SAPOSONIK (1962), HADAR und RUSSEL (1969), HANOCH und LEVY (1969) und ROTHSCHILD und STIGLITZ (1970). Auch im forstlichen Bereich wird diese Methode angewandt, um Entscheidungen unter Risiko zu treffen (HEIKKINEN und KUOSMANEN 2002, BENÍTEZ et al. 2006, MERCER et al. 2007, KNOKE 2008). Bei KNOKE et al. (2008) wird sie als wichtige Methode der Forstökonomie genannt, da die Gültigkeit ihrer Ergebnisse an weniger strikte Voraussetzungen gebunden ist als im Falle der $\mu - \sigma$ -Regel.

Während sich die Beurteilung einer Investition anhand der $\mu - \sigma$ -Regel immer auf eine bestimmte Nutzenfunktion des Anlegers stützt, hat die Stochastische Dominanz den Vorteil, dass die Ergebnisse für viele Nutzenfunktionen gültig sind. Sind die Bedingungen der stochastischen Dominanz erster Ordnung erfüllt, so hat das Ergebnis für alle streng monoton wachsenden Risikonutzenfunktionen Gültigkeit. Sind die Bedingungen der stochastischen Dominanz zweiter Ordnung erfüllt, so gilt das Ergebnis noch für alle Nutzenfunktionen, die streng konkav verlaufen (BAMBERG und COENENBERG 2006, SCHMID und TREDE 2006, KRUSCHWITZ 2007). Das Ergebnis gilt also für alle Anleger, die risikoavers sind, unabhängig vom Grad der Risikoabneigung, welcher zur Anwendung der $\mu - \sigma$ -Regel ja durch die absolute Risikoaversion α definiert werden muss.

Die allgemeinere Gültigkeit der Aussagen im Rahmen der stochastischen Dominanz liegt darin begründet, dass hier nicht nur Erwartungswert und Varianz der zu beurteilenden Investitionen betrachtet werden, sondern die gesamten Verteilungsfunktionen.¹¹⁶ Abb. 5.3 verdeutlicht dies.

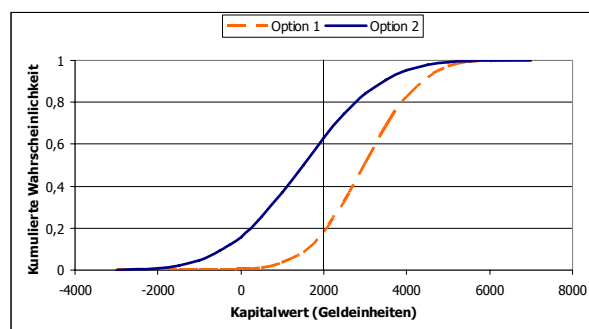


Abb. 5.3: Verteilungsfunktion der Kapitalwerte zweier Investitionen zur Verdeutlichung der Stochastischen Dominanz erster Ordnung.

Für Option 1 beträgt die Wahrscheinlichkeit, einen Kapitalwert von unter 2000 Geldeinheiten zu erwirtschaften 0,2. Daraus folgt, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,8 ($1 - 0,2$) mehr als 2000 Geldeinheiten erwirtschaftet werden. Im Falle der Option 2 beträgt diese Wahrscheinlichkeit nur 0,4 ($1 - 0,6$). Egal welchen Betrag man als mindestens geforderten Kapitalwert ansetzt: die Wahrscheinlichkeit, selbigen zu erwirtschaften, liegt bei Option 1 höher.

¹¹⁶ Es gibt allerdings auch bei der stochastischen Dominanz Einschränkungen, was die Trennschärfe angeht. Siehe Abschnitt 5.4.1.2. der Diskussion.

Damit sind die Bedingungen der stochastischen Dominanz erster Ordnung (**F**irst degree **s**tochastic **d**ominance = FSD) erfüllt (BAMBERG und COENENBERG 2006, LEVY 2006, KRUSCHWITZ 2007).

Es gilt:

$$Opt_1(x) \leq Opt_2(x) \text{ für alle } x \text{ und} \quad (5.7)$$

$$Opt_1(x) < Opt_2(x) \text{ für mindestens ein } x$$

$Opt_1(x)$ = Verteilungsfunktion der Option 1

$Opt_2(x)$ = Verteilungsfunktion der Option 2

Somit dominiert Option 1 die Option 2 nach der ersten Ordnung: $Opt_1 \succ_{FSD} Opt_2$

Empirische Untersuchungen von Finanzmärkten zeigen allerdings, dass FSD eher selten als Entscheidungskriterium angewendet werden kann (SCHMID und TREDE 2006). Häufig schneiden sich die Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie in Abb. 5.4a). In diesem Fall wird nach der stochastischen Dominanz zweiter Ordnung (**S**econd degree **s**tochastic **d**ominance = SSD) entschieden. Dabei werden die Flächen unter den Wahrscheinlichkeitskurven betrachtet, indem die Funktionen integriert werden (Abb. 5.4b).

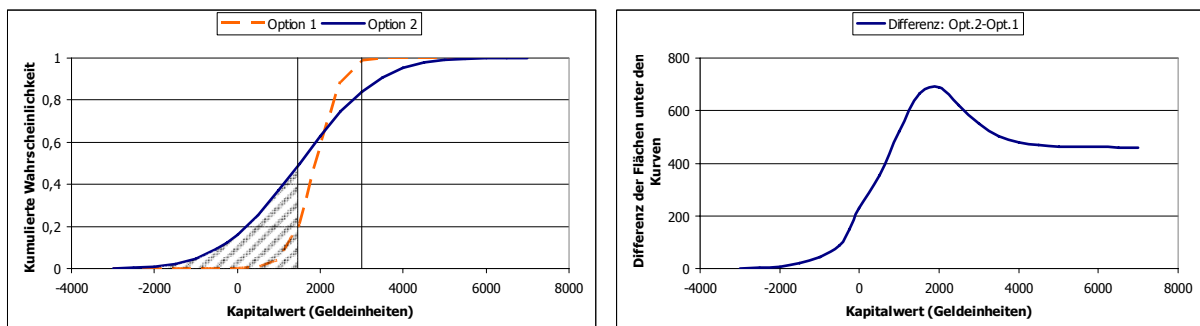


Abb. 5.4: Stochastische Dominanz zweiter Ordnung: a) Verteilungskurven und Fläche unter Kurve „Option 2“ bei 1500 Geldeinheiten. b) Integral der Differenz aus Option 2 und Option 1.

Um SSD zu erfüllen, muss die Fläche unter der Verteilungsfunktion von Option 1 für alle x-Werte kleiner als die Fläche der Verteilungsfunktion von Option 2 sein. Abb. 5.4b) zeigt, dass diese Bedingung erfüllt ist: das Integral aus der Differenz von Option 2 und Option 1 ist für alle x-Werte positiv.

Zur Erfüllung der SSD muss demnach gelten (LEVY 2006, KRUSCHWITZ 2007):

$$\int_{-\infty}^x Opt_2(t) - Opt_1(t) \geq 0 \text{ für alle } x \text{ und} \quad (5.8)$$

$$\int_{-\infty}^x Opt_2(t) - Opt_1(t) > 0 \text{ für mindestens ein } x$$

$Opt_1(t)$ = Verteilungsfunktion der Option 1

$Opt_2(t)$ = Verteilungsfunktion der Option 2

Somit dominiert Option 1 nach der zweiten Ordnung: $Opt_1 \succ_{SSD} Opt_2$

Abb. 5.4a) verdeutlicht auch, dass die SSD nur für risikoaverse Anleger gültig ist. So ist beispielsweise die Wahrscheinlichkeit, mehr als 3000 Geldeinheiten zu erwirtschaften in Option 2 eindeutig höher (siehe rechte senkrechte Linie). Ein risikofreudiger Anleger könnte also diese Variante bevorzugen. Für ihn dominiert die Option 1 nicht. Der risikoaverse Anleger wird sich jedoch immer für Option 1 entscheiden, da hier das Risiko niedriger Renditen deutlich geringer ist. Die Wahrscheinlichkeit, weniger als 1500 Geldeinheiten zu erzielen, liegt beispielsweise für Option 1 nur bei 0,2 während sie im Falle von Option 2 bei fast 0,5 liegt (siehe linke senkrechte Linie).

Die Optionen „behandeln“ und „nicht behandeln“ wurden für alle Holzerntevarianten auf stochastische Dominanz erster und zweiter Ordnung geprüft.

5.2.3.5 Finanzielle Betrachtung einer Jungwuchspflege ohne Ertrag

Einige Ergebnisse aus Kapitel 4 sprechen dafür, in den Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe Jungwuchspflegemaßnahmen durchzuführen, um die Wurzelentwicklung und damit die Verankerung der Fichten zu verbessern. Außerdem dienen solche Maßnahmen dazu, ggf. vorhandene Mischbaumarten zu erhalten. Aus diesem Grund waren die finanziellen Auswirkungen solcher Pflegemaßnahmen von besonderem Interesse und wurden einer gesonderten Betrachtung unterzogen. Dazu wurden zwei verschiedene Ansätze verfolgt.

5.2.3.5.1 Finanzieller Spielraum für Jungwuchspflegemaßnahmen – ohne Berücksichtigung von veränderten Überlebenswahrscheinlichkeiten

Hier wurden alle Szenarien herangezogen, bei denen die behandelte Variante einen höheren mittleren Kapitalwert erbrachte als die unbehandelte Variante. Die Differenz aus den mittleren Kapitalwerten stellte das Kapital dar, welches man für eine Jungwuchspflege einsetzen kann, ohne dass die unbehandelte Variante finanziell vorteilhafter wird als die behandelte.

Nachdem die Ausgaben für eine Jungbestandspflege nicht zum Zeitpunkt der Kulturbegründung anfallen, sondern erst beispielsweise 20 Jahre später, musste das verfügbare Kapital noch mit folgender Formel prolongiert werden.

$$I_J = (K_b - K_u) \cdot (1 + i)^t \quad (5.9)$$

- I_J = Maximal mögliche Investition für eine Jungwuchspflege
 K_b, K_u = Mittlerer Kapitalwert der behandelten und der unbehandelten Variante
 i = Kalkulationszinsfuß

Wies beispielsweise die behandelte Variante einen mittleren Kapitalwert auf, der um 1000 € größer war als der aus der unbehandelten Variante, dann lag der Spielraum für eine potenzielle Pflegemaßnahme bei bis zu 1496 €.

Dieser Ansatz berücksichtigte allerdings noch keinerlei Auswirkungen einer ggf. durch die Pflege erhöhten Stabilität des Bestandes auf das finanzielle Ergebnis.

5.2.3.5.2 Sensitivitätsanalyse: Auszahlungen für eine Jungwuchspflege contra erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit

Bei diesem Ansatz sollte ein ggf. höherer Kapitalwert von behandelten Varianten nicht zur Kompensation der Auszahlung für eine Jungwuchspflege herangezogen werden. Stattdessen wurde die Monte-Carlo-Methode mit einer Sensitivitätsanalyse kombiniert, um abzuschätzen, wie weit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Fichtenbestände aufgrund der Pflegemaßnahme steigen muss, damit sich die Maßnahme selbst finanziert. Im Rahmen der Risikoanalyse haben die Überlebenswahrscheinlichkeiten einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der durchschnittlich erreichbaren Kapitalwerte. Je niedriger der Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeitskurve ist, desto niedriger sind die zu erwartenden Kapitalwerte und umgekehrt. Es wurde also getestet, wie weit sich die Überlebenswahrscheinlichkeiten langfristig erhöhen müssten, um die Auszahlungen für die Jugendpflege zu kompensieren. Dazu wurde zunächst die Pflegemaßnahme in die Monte-Carlo-Simulationen aufgenommen. Aufgrund der großen Streuung in den Angaben für die Kosten einer Pflegemaßnahme ergaben sich bei unterstellter Normalverteilung allerdings z.T. negative Werte. Das bedeutet so viel, dass man für eine Pflegemaßnahme Geld bekommt. So etwas wäre nur im Zuge einer Selbstwerbungsmaßnahme möglich, bei welcher ein Selbstwerber die Pflege unentgeltlich durchführt, das Holz mitnimmt und dafür noch etwas bezahlt. Nachdem dies im Gebirge und bei den schwachen Holzdimensionen nicht denkbar ist, wurde für die Pflege eine Mindestausgabe in Höhe von 300 € festgelegt. Die Simulationen wurden dann mit schrittweise erhöhten Überle-

benswahrscheinlichkeiten neu gerechnet, bis die diskontierten Einsparungen durch verminderten Schadholtanfall die abgezinsten Ausgaben für eine Jungbestandspflege überstiegen. Die Maßnahme wurde aber erst dann als wirklich vorteilhafter eingestuft, wenn sich bei der Variante mit Pflege ein mindestens gleiches oder höheres Sicherheitsäquivalent gemäß der $\mu - \sigma$ -Regel ergab, als bei der Variante ohne Pflege.

In Kapitel 5.4. wird diskutiert, ob die notwendige Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeiten auf dem Wege einer Jungwuchspflege realistischerweise erreicht werden kann.

5.3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zunächst die Vorrats- und Wertentwicklungen in den Wuchsreihen dargestellt. Daraus werden im Abschnitt 5.3.2. die Deckungsbeiträge, Kapitalwerte und Annuitäten ohne Berücksichtigung von Risiko abgeleitet. Dem schließen sich die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen und der Risikoanalysen an, die im Abschnitt 5.3.4. einer Beurteilung nach $\mu - \sigma$ -Regel und stochastischer Dominanz unterzogen werden. Abschließend erfolgt die finanzielle Beurteilung von Jungbestandspflegemaßnahmen.

5.3.1 Modellierung der Vorrats- und Wertentwicklungen

Abb. 5.5 zeigt summarisch die Vorratsentwicklungen für die behandelten und die unbehandelten Bestände sowie die Entwicklung der Entnahmesätze über dem Alter.¹¹⁷ Die Punktdiagramme zeigen die gemessenen Werte, die Linien den regressionsanalytischen Ausgleich. Sowohl in der behandelten Reihe als auch in der Reihe für die Entnahmesätze wurde je ein Ausreißer nicht in die Regression einbezogen.

¹¹⁷ Eine ausführliche Auflistung der Sortierungsergebnisse kann dem Anhang entnommen werden.

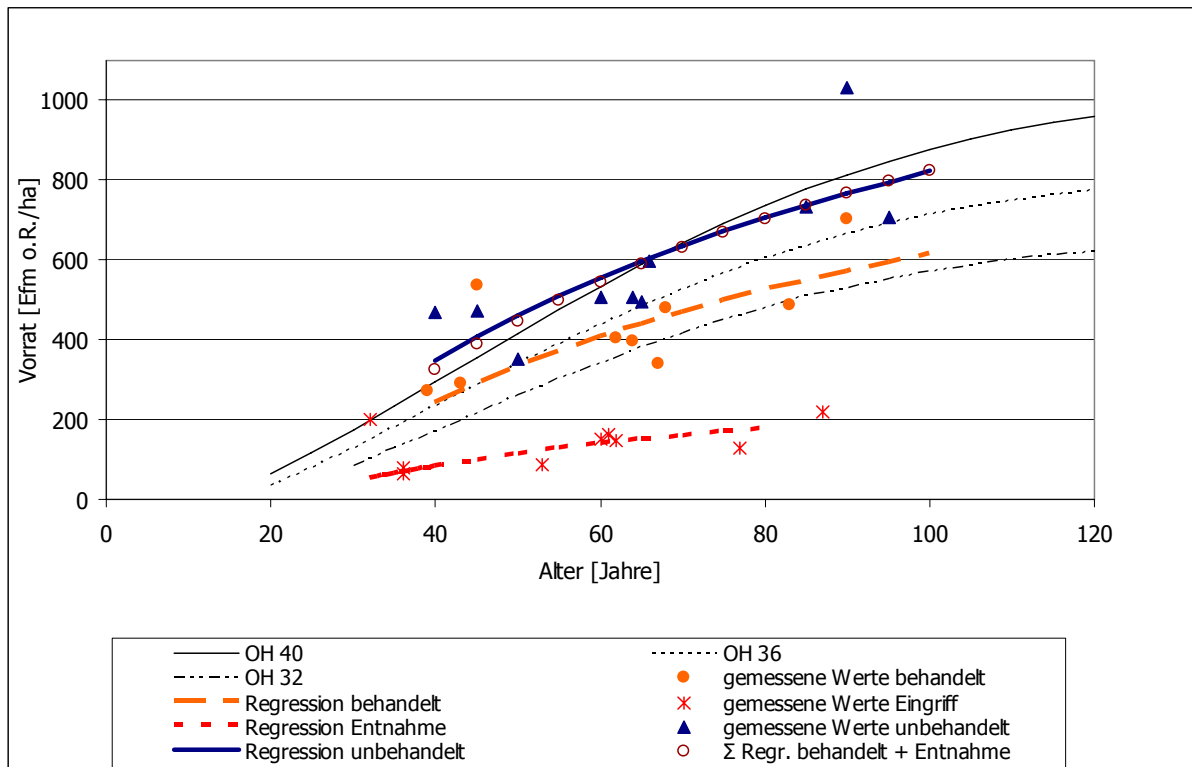


Abb. 5.5: Vorratsentwicklungen in der behandelten und der unbehandelten Bestände im Vergleich zur Ertragstafel (OH=Oberhöhenbonität nach ASSMANN und FRANZ 1961).

Auch wenn gemäß der Residualanalyse die Anpassung durch eine andere Transformation noch besser gewesen wäre, wurde hier die logarithmische Transformation gewählt, da diese die natürlichen Wachstumsgesetzmäßigkeiten am besten widerspiegelt. Allgemeine Wachstumsfunktionen wie beispielsweise die Chapman-Richards-Funktion (PRETZSCH 2001, S. 21) führten zu keinem befriedigenden Ausgleich. Demnach ergab sich folgende Funktion für die Schätzung der Vorräte:

$$V = b_0 + b_1 \cdot \ln(\text{Alter}) \quad (5.10)$$

- V = Vorrat, bzw. bei den Eingriffen der Entnahmesatz
- b_0, b_1 = Parameter
- Alter = Aufnahmealter bzw. bei den Eingriffen Alter zum Eingriffszeitpunkt

Tab. 5.5 enthält die zugehörigen Parameter sowie Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und die p-Werte des Shapiro-Wilk-Tests. Die Bestimmtheitsmaße sind zufriedenstellend und der Grenzwert für den Shapiro-Wilk-Test, welcher i. d. R. bei 0,1 angesetzt wird, wurde nur in einem Fall unterschritten. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde aber bei dieser Regression trotzdem die logarithmische Transformation beibehalten. Zur Orientierung sind in Abb.

5.5 die Vorratsentwicklungen für die Oberhöhenbonitäten 32, 36 und 40 laut der vorläufigen Fichtenertragstafel für Bayern von ASSMANN und FRANZ (1963) (mäßige Durchforstung, mittleres Ertragsniveau) mit eingezeichnet. Obwohl das bei ASSMANN und FRANZ unterstellte Durchforstungsregime weder für die behandelte noch für die unbehandelte Variante genau zutrifft und die Untersuchungspartellen nicht die exakt gleichen Bonitäten aufweisen, zeigen die Ausgleichskurven im Vergleich zu den Ertragstafelwerten einen plausiblen Verlauf. Vor allem im Vergleich untereinander weisen die Behandlungsvarianten eine hohe Ähnlichkeit auf. Dies wird besonders deutlich, wenn man die Werte aus den Regressionen für den Vorrat der behandelten Variante und für die Durchforstungsentnahmen aufsummiert. Die Summenkurve verläuft nahezu exakt auf der Ausgleichskurve der unbehandelten Variante.

Tab. 5.5: Parameter, Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Regressionsgleichungen der Vorratsentwicklungen

Variante	Aufarbeitungszopf	b_0	b_1	Mittlere Abweichung	R^2	p-Wert Shapiro-Wilk-Test
Behandelt	7 cm	-1257	406,26	78	0,73	0,91
	10 cm	-1298	414,49	79	0,73	0,95
Entnahmen	7 cm	-430	138,93	29	0,74	0,40
	10 cm	-454	143,89	27	0,77	0,45
Unbehandelt	7 cm	-1571	519,82	127	0,62	0,06
	10 cm	-1684	543,73	128	0,63	0,12

In analoger Vorgehensweise wurde auch die Entwicklung der Abtriebswerte (Abb. 5.6, Tab. 5.6) und die Entwicklung der zugehörigen Holzerntekosten (Abb. 5.7, Tab. 5.7) aufbereitet.¹¹⁸

¹¹⁸ Die parzellenweisen Abtriebswerte und Holzerntekosten können dem Anhang entnommen werden.

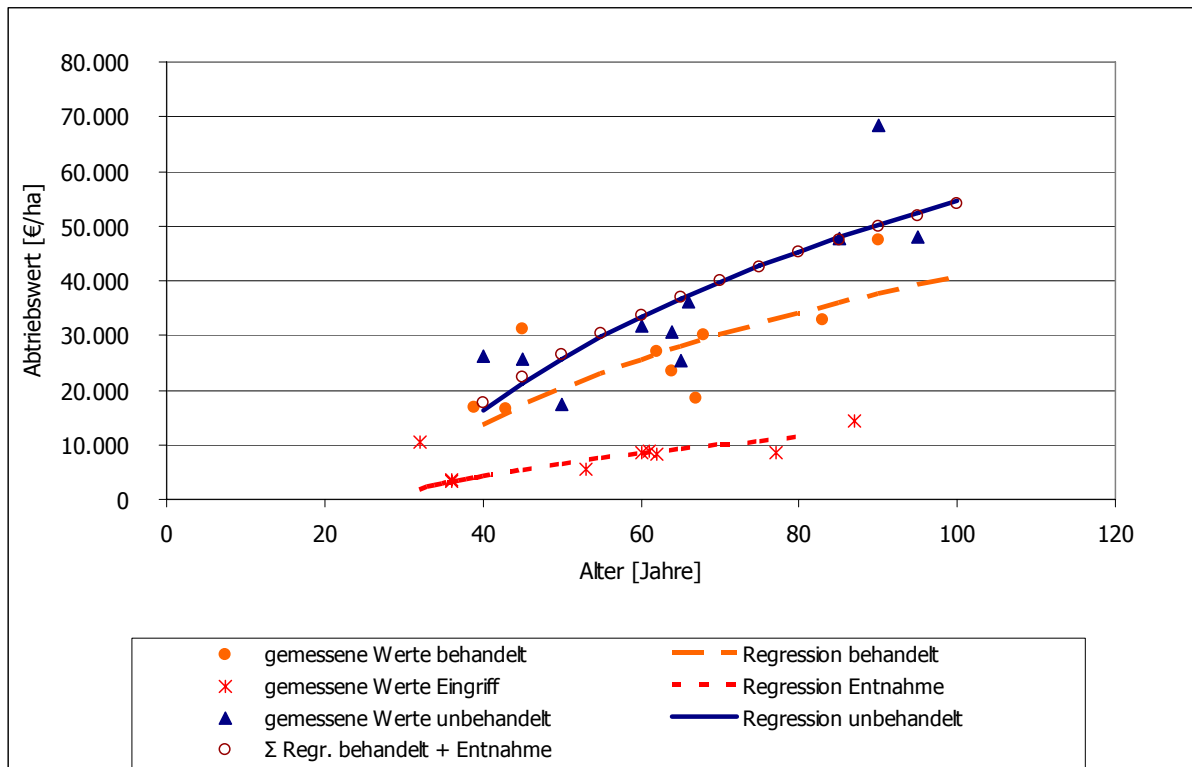


Abb. 5.6: Wertentwicklungen in der behandelten und der unbehandelten Bestände sowie Entwicklung der Durchforstungserlöse.

Auch hier wurde eine logarithmische Transformation vorgenommen, sodass die Formel zur Berechnung der Abtriebswerte, Durchforstungserlöse und Holzerntekosten analog zur Vorratsentwicklung lautet:

$$W = b_0 + b_1 \cdot \ln(\text{Alter}) \quad (5.11)$$

- W = Wert (Abtriebswert, Durchforstungserlös bzw. Holzerntekosten)
- b_0, b_1 = Parameter
- Alter = Aufnahmealter bzw. bei den Eingriffen Alter zum Eingriffszeitpunkt

Die statistischen Kennzahlen für die Regressionen der Abtriebswerte und Holzerntekosten wiesen wiederum befriedigende Werte auf (Tab. 5.6 und Tab. 5.7). Lediglich in einem Fall (Holzerntekosten bei den Entnahmen im Harvesterverfahren) wurde der Grenzwert für den Shapiro-Wilk-Test geringfügig unterschritten, was aber toleriert wurde.

Tab. 5.6: Parameter, Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Regressionsgleichungen der Abtriebswerte

Variante	Aufarbeitungszopf	b0	b1	Mittlere Abweichung	R ²	p-Wert Shapiro-Wilk-Test
Behandelt	7 cm	-95055,00	29447,00	6373	0,68	0,88
	10 cm	-96457,00	29732,00	6437	0,68	0,85
Entnahmen	7 cm	-33856,00	10279,00	1579	0,83	0,70
	10 cm	-34555,00	10419,00	1551	0,84	0,65
Unbehandelt	7 cm	-137809,00	41796,00	9281	0,66	0,32
	10 cm	-141238,00	42516,00	9358	0,66	0,39

In Abb. 5.7 ist beispielhaft die Entwicklung der Holzerntekosten verschiedener Verfahren gegenüber den Durchforstungserlösen bei den Eingriffen aufgetragen. Frühe Eingriffe beispielsweise im Alter 40 sind demnach bei den Ernteverfahren „Vollbaum“, „Seil bergauf“ und „Seil bergab“ noch defizitär. Im Alter 60 würde lediglich noch eine Durchforstung mittels Seilkranverfahren bergab zu negativen Deckungsbeiträgen führen.

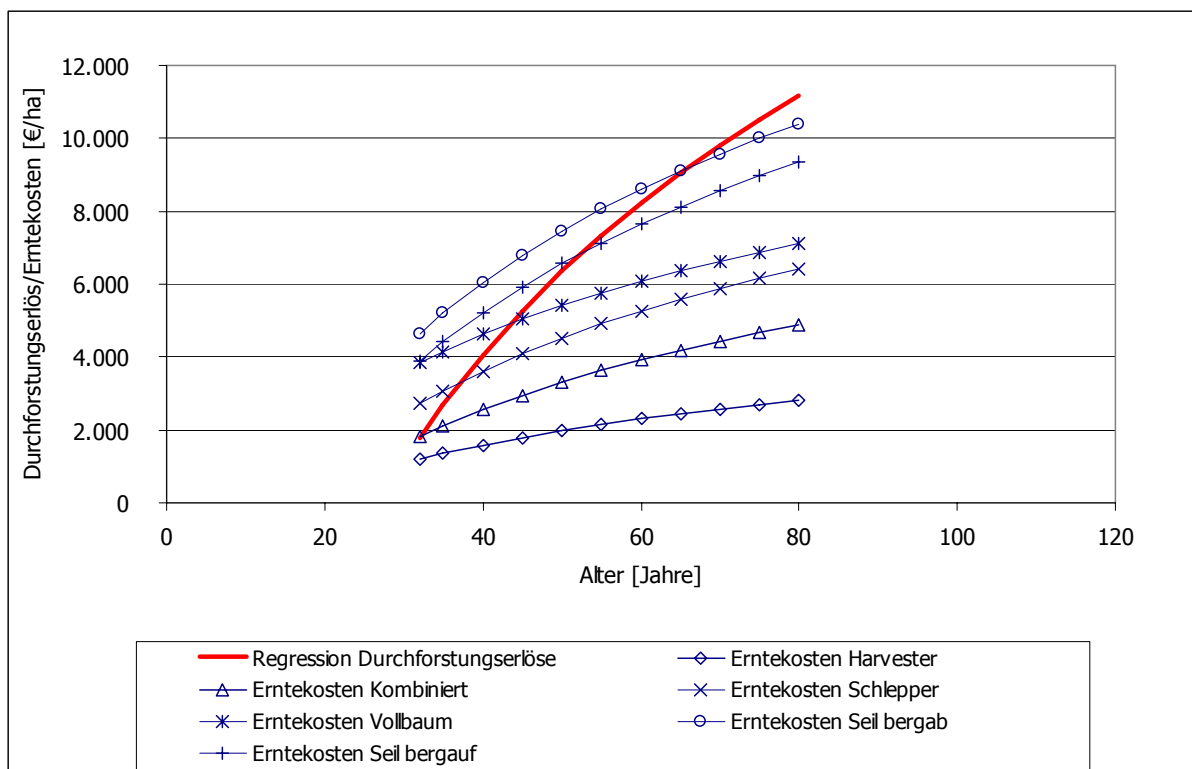


Abb. 5.7: Entwicklung der Durchforstungserlöse im Vergleich zu den Holzerntekosten verschiedener Verfahren.

Tab. 5.7: Parameter, Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Regressionsgleichungen der Holzerntekosten.

Variante	Ernteverfahren	b0	b1	Mittlere Abweichung	R ²	p-Wert Shapiro-Wilk-Test
Behandelt	Harvester	-9771,66	3985,77	1135	0,55	0,16
	Kombiniert	-22065,00	8090,87	1846	0,65	0,49
	Vollbaum	-18890,00	8548,29	2640	0,51	0,44
	Schlepper	-22082,00	8784,62	2156	0,62	0,86
	Seil bergauf	-40857,00	14853,00	3149	0,69	0,66
	Seil bergab	-36567,00	14430,00	3386	0,64	0,93
Entnahmen	Harvester	-4916,96	1763,34	549	0,55	0,08
	Kombiniert	-9852,89	3363,79	880	0,63	0,13
	Vollbaum	-8495,49	3558,92	1704	0,34	0,40
	Schlepper	-11340,00	4054,30	1268	0,55	0,32
	Seil bergauf	-16735,00	5954,86	1825	0,56	0,19
	Seil bergab	-17109,00	6278,66	2160	0,50	0,43
Unbehandelt	Harvester	-12027,00	5165,74	1800	0,44	0,32
	Kombiniert	-27372,00	10425,00	3233	0,50	0,17
	Vollbaum	-8803,49	7888,86	4272	0,25	0,55
	Schlepper	-23663,00	10525,00	4230	0,37	0,45
	Seil bergauf	-47339,00	18342,00	6038	0,47	0,27
	Seil bergab	-36257,00	16617,00	6401	0,39	0,46

5.3.2 Bewertung der Behandlungsvarianten ohne Berücksichtigung von Risiko

Aus den im vorigen Kapitel erstellten Regressionskurven für Holzerlöse und Erntekosten konnten direkt die potenziellen Zahlungsströme für die beiden zu vergleichenden Szenarien errechnet werden. Im Fall der unbehandelten Variante sind dies neben den Kulturkosten nur die Ein- und Auszahlungen für die Ernte im Alter 100. Bei der behandelten Variante kommen noch die Durchforstungen im Alter 40, 60 und 80 hinzu (Tab. 5.8).

Tab. 5.8: Ein- und Auszahlungen in den beiden Behandlungsvarianten gemäß den Regressionsanalysen in €/ha.

Variante	Zahlungsvorgang	Zopf	Bestandesalter in Jahren					
			0	40	60	80	100	
behandelt	Kulturbegründung		-2.700					
	Holzverkauf	7 cm		4.062	8.230	11.187	40.553	
	Holzverkauf	10 cm		3.879	8.104	11.101	40.464	
	Ernte: Harvester	7 cm		-1.588	-2.303	-2.810	-8.584	
	Ernte: Kombiniert	7 cm		-2.556	-3.920	-4.887	-15.195	
	Ernte: Schlepper	10 cm		-3.616	-5.260	-6.426	-18.373	
	Ernte: Vollbaum	7 cm		-4.633	-6.076	-7.100	-20.476	
	Ernte: Seil bergauf	10 cm		-5.232	-7.646	-9.359	-27.904	
	Ernte: Seil bergab	10 cm		-6.052	-8.598	-10.404	-29.886	
unbehandelt	Kulturbegründung		-2.700					
	Holzverkauf	7 cm		-	-	-	54.669	
	Holzverkauf	10 cm		-	-	-	54.555	
	Ernte: Harvester	7 cm		-	-	-	-11.762	
	Ernte: Kombiniert	7 cm		-	-	-	-20.637	
	Ernte: Schlepper	10 cm		-	-	-	-24.806	
	Ernte: Vollbaum	7 cm		-	-	-	-27.526	
	Ernte: Seil bergauf	10 cm		-	-	-	-37.595	
	Ernte: Seil bergab	10 cm		-	-	-	-40.267	

5.3.2.1 Deckungsbeiträge

Aus den Differenzen der dargestellten Zahlungsströme ergaben sich die Deckungsbeiträge¹¹⁹ für die einzelnen Perioden und in Summe über die gesamte Umtriebszeit (Tab. 5.9).

Aufgrund der hohen Holzerntekosten ergeben sich für die Durchforstungsmaßnahmen im Alter 40 bei den drei Seil-Verfahren „Vollbaum“, „Seil bergauf“ und „Seil bergab“ negative Deckungsbeiträge. Bei Anwendung des teuersten Verfahrens „Seil bergab“ ist auch die Durchforstung im Alter 60 noch defizitär. Wegen der größeren Vorratsakkumulation in der unbehandelten Variante ergeben sich dort für die fiktiven Erntemaßnahmen im Alter 100 deutlich höhere Deckungsbeiträge als in der behandelten Variante.

¹¹⁹ Der Begriff „Deckungsbeitrag“ ist genau genommen ein Begriff aus der Kostenrechnung und nicht der Investitionsrechnung. Er wird hier dennoch verwendet, da er für die durchgeführten Berechnungen im Forstbereich gebräuchlich ist.

Tab. 5.9: Deckungsbeiträge der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteverfahren [€/ha].

Variante	Ernteverfahren	Bestandesalter in Jahren					Summe
		0	40	60	80	100	
behandelt	Harvester	-2.700	2.474	5.927	8.377	31.970	46.048
	Kombiniert	-2.700	1.506	4.310	6.300	25.359	34.775
	Schlepper	-2.700	264	2.844	4.675	22.091	27.174
	Vollbaum	-2.700	-571	2.154	4.087	20.077	23.047
	Seil bergauf	-2.700	-1.352	458	1.742	12.560	10.707
	Seil bergab	-2.700	-2.173	-494	697	10.578	5.909
unbehandelt	Harvester	-2.700	-	-	-	42.907	40.207
	Kombiniert	-2.700	-	-	-	34.032	31.332
	Schlepper	-2.700	-	-	-	29.749	27.049
	Vollbaum	-2.700	-	-	-	27.143	24.443
	Seil bergauf	-2.700	-	-	-	16.961	14.261
	Seil bergab	-2.700	-	-	-	14.288	11.588

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse wurden in Abb. 5.8 die Deckungsbeiträge der unbehandelten Variante von den Deckungsbeiträgen der behandelten Variante abgezogen. Demnach ergeben sich bei Vernachlässigung von Zinsen und ohne Berücksichtigung von Risiken nur bei den beiden Ernteverfahren „Harvester“ und „Kombiniert“ eindeutige finanzielle Vorteile der Behandlung. Wird das Schlepperverfahren zur Ernte angewendet, so wirkt sich die Behandlung kaum auf die finanzielle Situation aus. Alle drei seilgestützten Ernteverfahren führen im Behandlungsfall zu geringeren Deckungsbeiträgen als bei Nichtbehandlung.

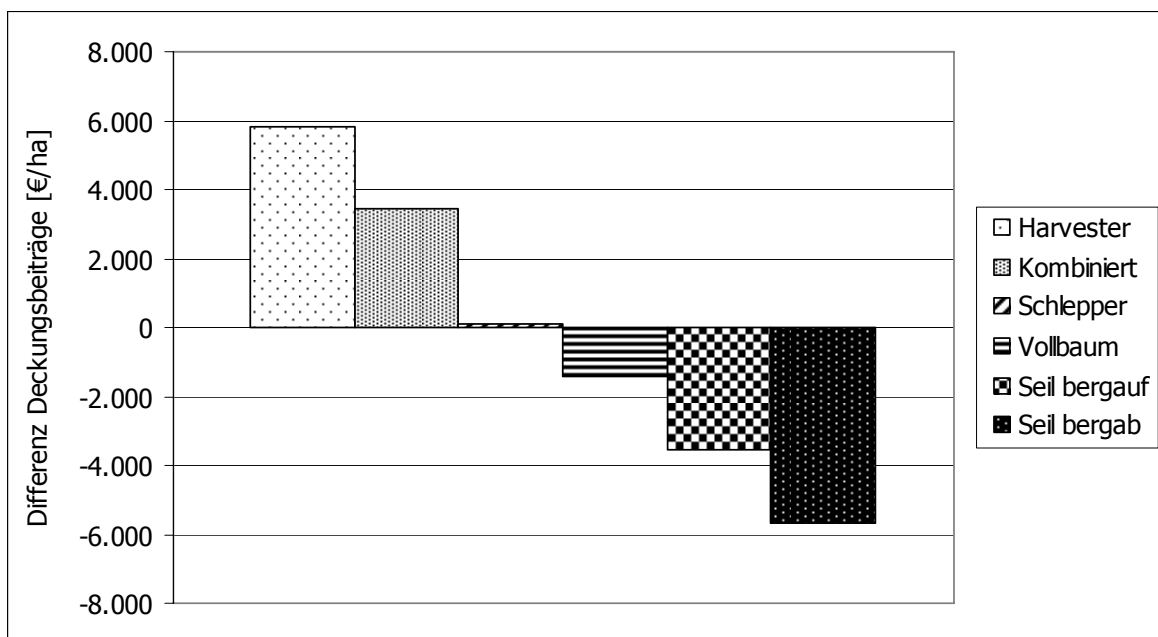


Abb. 5.8: Differenzen der summarischen Deckungsbeiträge [€/ha]. (Deckungsbeitrag der behandelten Variante abzüglich Deckungsbeitrag der unbehandelten Variante).

5.3.2.2 Kapitalwerte

Werden die Deckungsbeiträge mit einem Zinssatz von 2% auf den Zeitpunkt der Kulturbegründung diskontiert, so ergeben sich Kapitalwerte, die deutlich niedriger ausfallen als die Summen der Deckungsbeiträge (Tab. 5.10). Die große Wirkung der Verzinsung kann man z.B. bei der unbehandelten Variante mit Ernteverfahren „Seil bergauf“ ersehen: ein Deckungsbeitrag von knapp 17.000 €/ha im Alter 100 reduziert sich durch die Diskontierung auf 2.341 €/ha und kann somit bei einer Verzinsung von 2% die Anfangsinvestition der Kulturbegründung nicht mehr aufwiegen. Allerdings hat die Berücksichtigung von Zinsen eine verstärkende Wirkung auf frühe positive Deckungsbeiträge, die im Rahmen von Durchforstungen erzielt werden. So ergibt sich beispielsweise im Fall der Harvesteraufarbeitung für die behandelte Variante ein Kapitalwert, der nahezu doppelt so hoch ist, wie der entsprechende Wert in der unbehandelten Variante.

Tab. 5.10: Kapitalwerte der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteverfahren [€/ha].

Variante	Ernteverfahren	Barwerte					Kapitalwert
		Bestandesalter in Jahren					
		0	40	60	80	100	
behandelt	Harvester	-2.700	1.121	1.806	1.718	4.413	6.358
	Kombiniert	-2.700	682	1.314	1.292	3.500	4.088
	Schlepper	-2.700	119	867	959	3.049	2.295
	Vollbaum	-2.700	-259	656	838	2.771	1.307
	Seil bergauf	-2.700	-612	140	357	1.734	-1.082
	Seil bergab	-2.700	-984	-151	143	1.460	-2.231
unbehandelt	Harvester	-2.700	-	-	-	5.923	3.223
	Kombiniert	-2.700	-	-	-	4.698	1.998
	Schlepper	-2.700	-	-	-	4.106	1.406
	Vollbaum	-2.700	-	-	-	3.747	1.047
	Seil bergauf	-2.700	-	-	-	2.341	-359
	Seil bergab	-2.700	-	-	-	1.972	-728

Beim direkten Vergleich der beiden Szenarien ergeben sich aufgrund der Verzinsung für die beiden Ernteverfahren „Schlepper“ und „Vollbaum“ veränderte Rangfolgen hinsichtlich des finanziellen Vorteils (Abb. 5.9). Ersteres Verfahren ist nicht mehr indifferent sondern weist in der behandelten Variante einen deutlich höheren Kapitalwert auf als in der unbehandelten. Und auch beim Vollbaumverfahren ergibt sich noch eine Differenz von knapp 300 €/ha zugunsten der Behandlungsvariante. Die positiven Barwerte der späteren Durchforstungen können offensichtlich den negativen Barwert der ersten Durchforstung im Alter 40 überkompensieren.

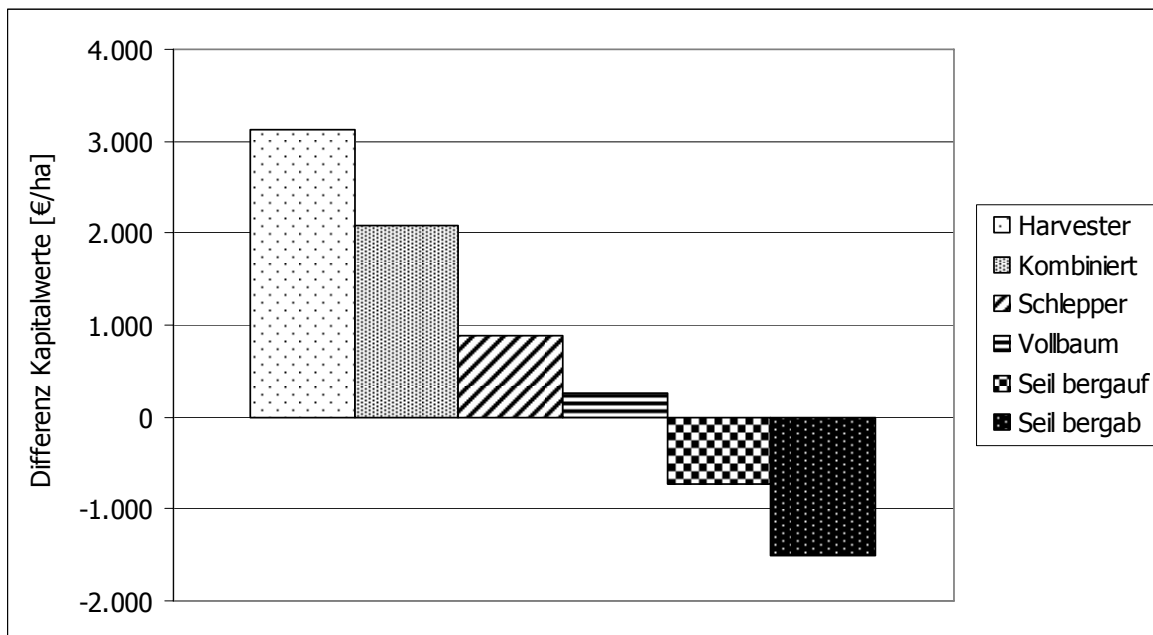


Abb. 5.9: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha]. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante).

5.3.2.3 Annuitäten

Die den Kapitalwerten entsprechenden Annuitäten sind in Tab. 5.11 dargestellt. Nachdem die Umtriebszeiten der beiden Szenarien als identisch angenommen wurden, ergeben sich bei der Beurteilung der Alternativen hinsichtlich finanzieller Vorteile keine anderen Reihenfolgen als bei Betrachtung der Kapitalwerte.

Tab. 5.11: Annuitäten der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteverfahren [€/ha].

Variante	Ernteverfahren	Annuitäten					Summe Annuitäten
		Bestandesalter in Jahren bei Maßnahme					
		0	40	60	80	100	
behandelt	Harvester	-63	26	42	40	102	148
	Kombiniert	-63	16	30	30	81	95
	Schlepper	-63	3	20	22	71	53
	Vollbaum	-63	-6	15	19	64	30
	Seil bergauf	-63	-14	3	8	40	-25
	Seil bergab	-63	-23	-3	3	34	-52
unbehandelt	Harvester	-63	-	-	-	137	75
	Kombiniert	-63	-	-	-	109	46
	Schlepper	-63	-	-	-	95	33
	Vollbaum	-63	-	-	-	87	24
	Seil bergauf	-63	-	-	-	54	-8
	Seil bergab	-63	-	-	-	46	-17

Eine Abbildung der Differenzen würde demnach bei anderer Skalierung der y-Achse dasselbe Bild ergeben wie in der Darstellung für die Kapitalwerte in Abb. 5.9. Deshalb wird auf diese

Abbildung verzichtet. Stattdessen werden die absoluten Annuitäten der beiden Varianten dargestellt (Abb. 5.10). Diese zeigen an, welcher Geldbetrag bei der jeweiligen Behandlungsvariante unter einem gegebenen Ernteregime umgerechnet jährlich erzielt wird bzw. aufgewendet werden muss. Es wird ersichtlich, dass in beiden Varianten die Erntemethoden „Seil bergauf“ und „Seil bergab“ zu negativen Annuitäten führen.

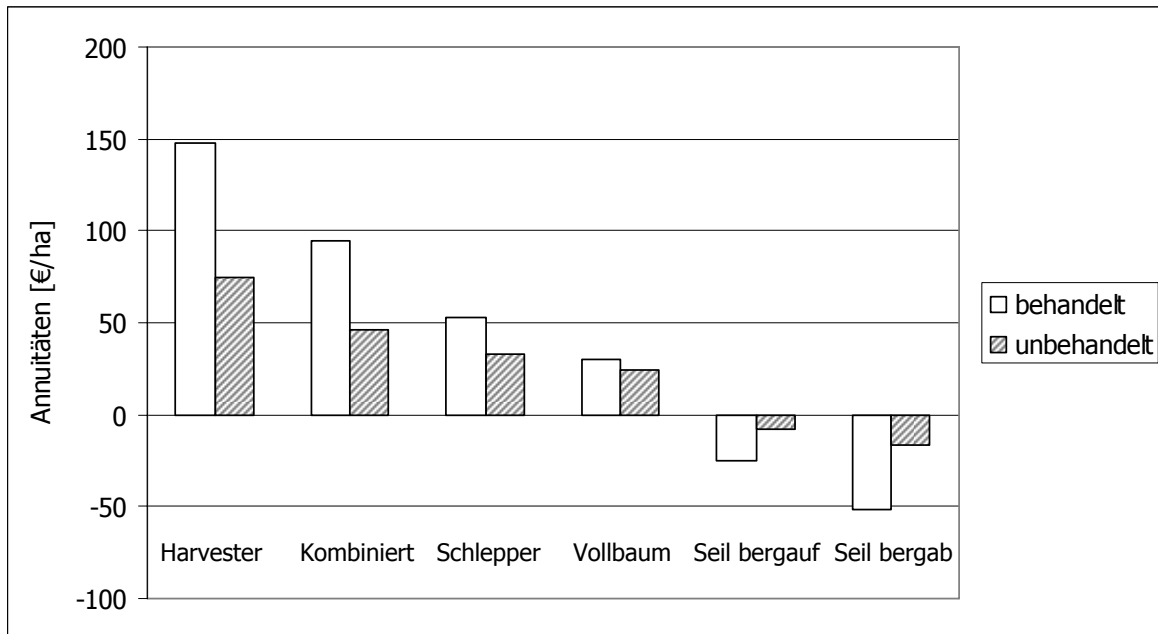


Abb. 5.10: Annuitäten der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteregimes [€/ha]

5.3.3 Bewertung der Behandlungsvarianten im Rahmen der Sensitivitätsanalyse

5.3.3.1 Wirkung unterschiedlicher Holzerntekosten und Holzpreise

Berechnet man unter Annahme der gegebenen Vorratsentwicklungen, Entnahmesätze und Holzpreise Kapitalwerte mit veränderlichen Holzerntekosten, so ergeben sich die in Abb. 5.11 dargestellten Entwicklungen.¹²⁰ In der unbehandelten Variante sinkt der Kapitalwert ab Erntekosten von ca. 42,- €/fm unter Null. In der behandelten Variante geschieht dies bei Holzerntekosten von ca. 47,- €/fm. Auch im negativen Bereich ist die behandelte Variante zunächst noch vorteilhafter, weil weniger defizitär. Erst ab Erntekosten von etwa 53,- €/fm schneiden sich die Kurven. Ab diesem Wert ist die unbehandelte Variante vorteilhafter.

¹²⁰ Es ist ein Aufarbeitungszopf von 7 cm unterstellt.

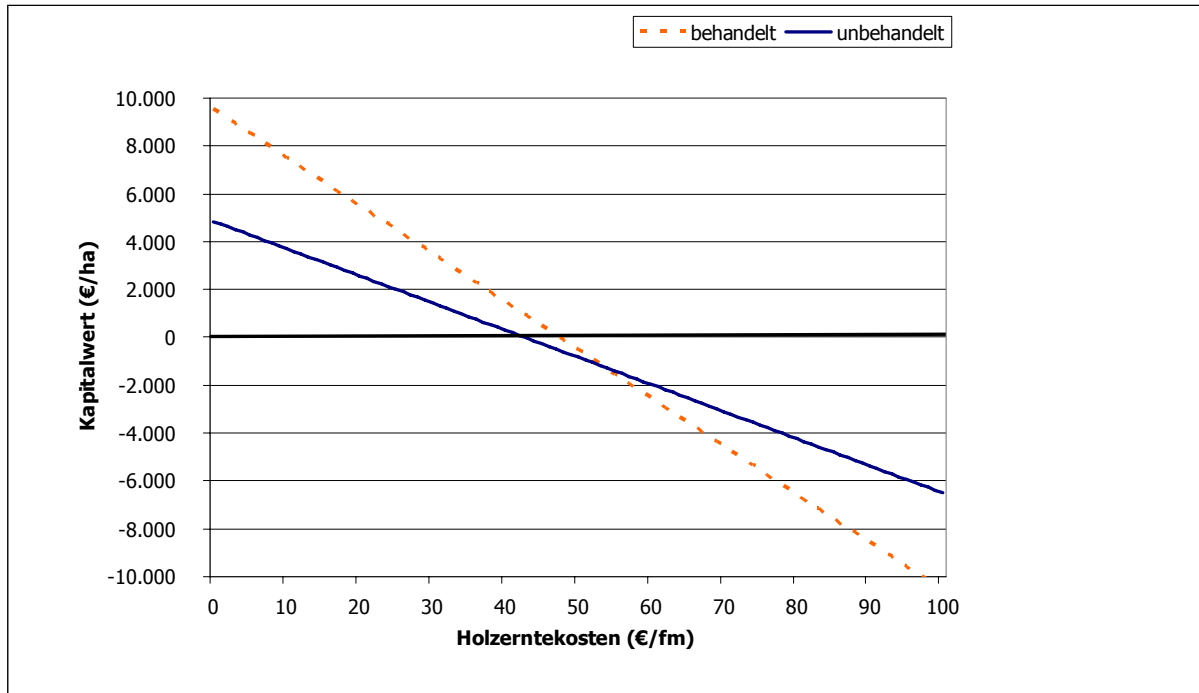


Abb. 5.11: Kapitalwerte der beiden Behandlungsvarianten bei veränderlichen Holzerntekosten [€/ha]

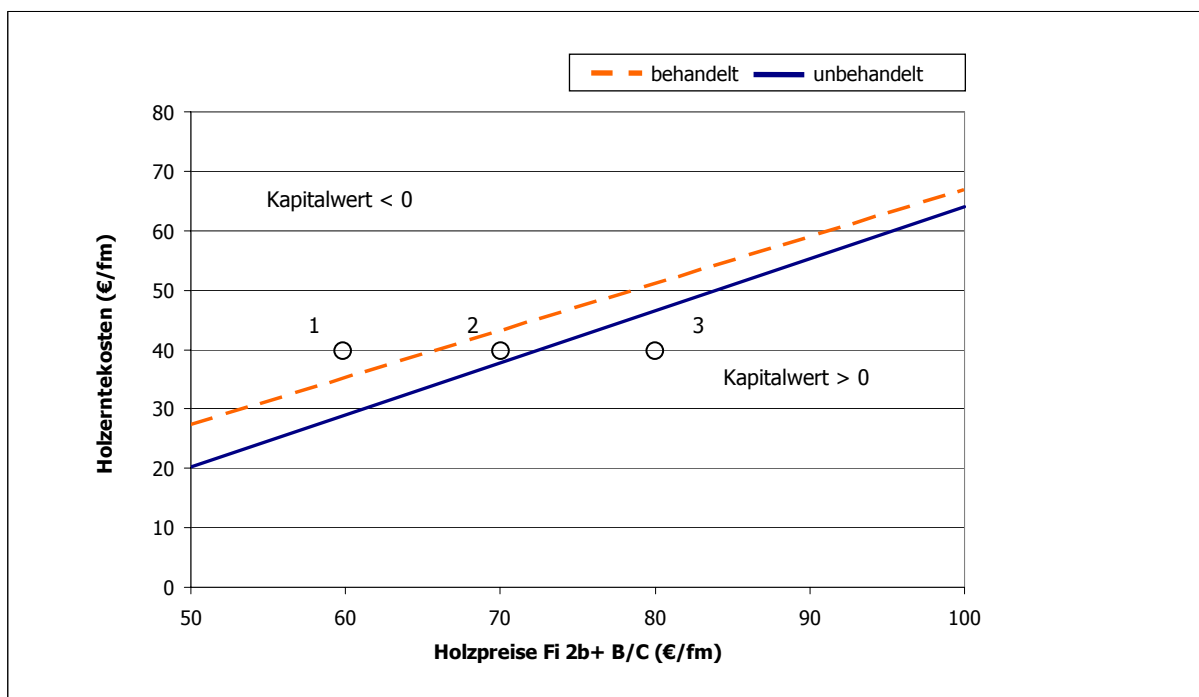


Abb. 5.12: Sensitivitätsanalyse zu Holzpreisen (Leitsortiment 2b+, Qualität BC) und Holzerntekosten. Alle Kombinationen unterhalb der jeweiligen Linie bedeuten positive Kapitalwerte, Kombinationen darüber führen zu negativen Kapitalwerten.

Abb. 5.12 kombiniert die beiden Inputgrößen Holzerntekosten und Holzpreise. Wertekombinationen unterhalb der jeweiligen Linie führen zu positiven Kapitalwerten, Wertekombinationen

nen darüber zu negativen. Die drei Kreise dienen der Verdeutlichung eines Ablesebeispiels. Es sind Erntekosten von 40 €/fm angenommen. Ein gleichzeitiger Holzpreis im Leitsortiment 2b+ (Qualität B/C) von 60 €/fm würde bei beiden Varianten zu negativen Kapitalwerten führen (Kreis 1). Läge der Preis bei 70 €/fm, so wäre nur bei der Behandlungsvariante ein positiver Kapitalwert erzielbar (Kreis 2). Ein Holzpreis von 80 €/fm bedeutete für beide Varianten einen positiven Kapitalwert (Kreis 3).

5.3.3.2 Wirkung unterschiedlicher Zinssätze

Steigert man den Zinssatz für die Berechnung der Kapitalwerte schrittweise von 0% bis 5% (Abb. 5.13), so ändert sich bei fast keinem Holzernteverfahren die Rangfolge zwischen behandelter und unbehandelter Variante. Lediglich beim Vollbaumverfahren schneiden sich die beiden Kurven. Das bedeutet, ab einem geforderten Zinssatz von knapp 1% erweist sich die behandelte Variante als vorteilhafter. Legt man Verzinsungen unter diesem Wert an, so schneidet die unbehandelte Variante besser ab.

Bei den Ernteverfahren „Harvester“, „Kombiniert“ und „Schlepper“ stellt sich die behandelte Variante unabhängig vom Zinssatz durchgängig vorteilhafter dar als die unbehandelte Variante. Allerdings verlaufen die Kurven bei den ersten beiden Verfahren über einen weiten Bereich nahezu parallel zueinander. Das heißt, trotz insgesamt sinkender Kapitalwerte bleibt die Differenz zwischen beiden Varianten und damit der Vorteil der behandelten Variante auf etwa gleich hohem Niveau. Im Fall des Schlepperverfahrens wird die Differenz sogar vorübergehend größer. Der Vorteil einer Behandlung steigt hier also mit höheren Zinsforderungen an. Erst ab Verzinsungen von 3-4% beginnen sich bei allen drei Holzernteverfahren die Kapitalwerte der beiden Behandlungsvarianten einander anzunähern.

Bei den beiden Seilverfahren schneidet über die ganze Bandbreite an Verzinsungen die unbehandelte Variante besser ab. Allerdings wird hier der Vorteil dieser Variante von Beginn an kontinuierlich geringer.

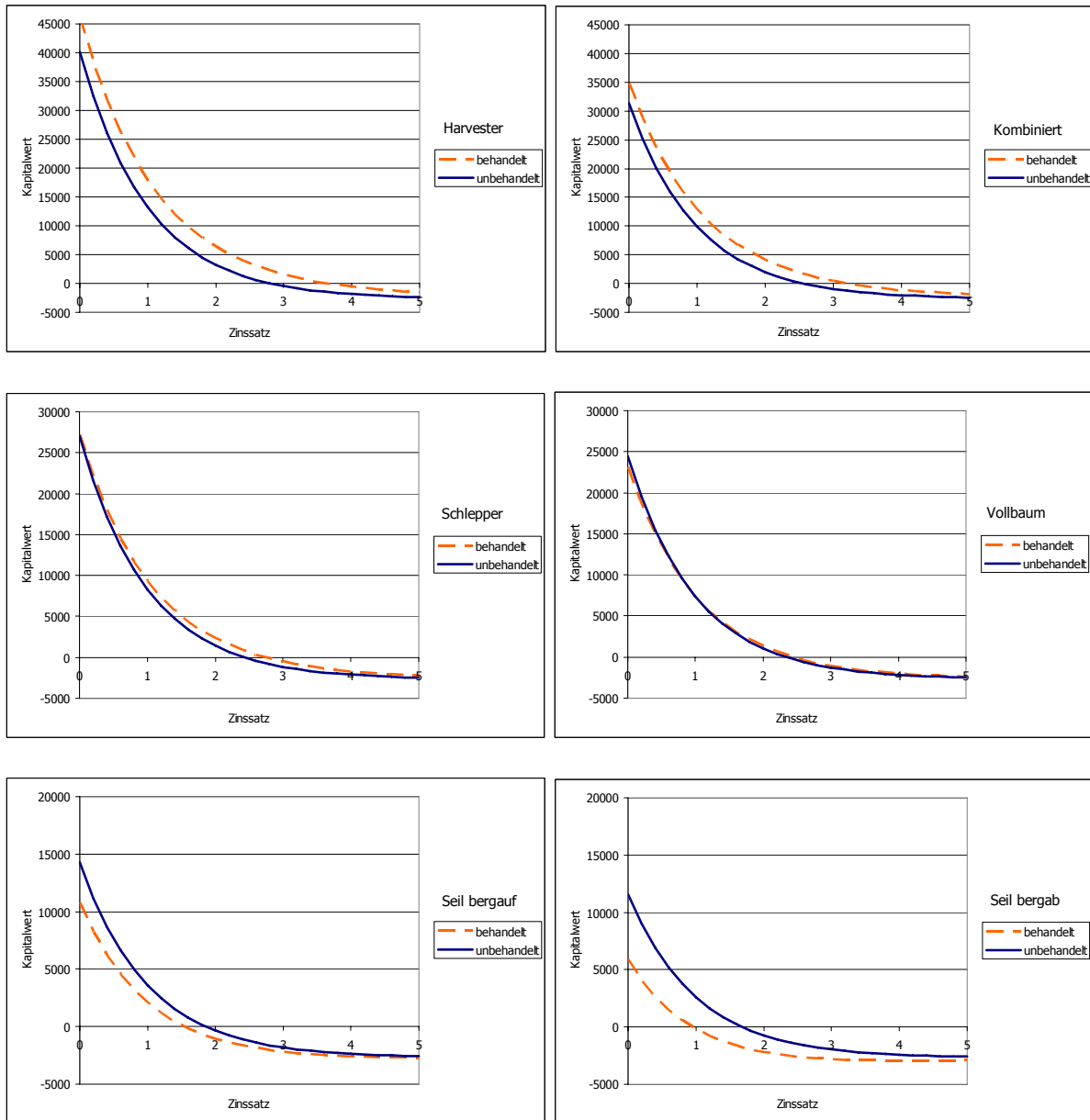


Abb. 5.13: Veränderung der Kapitalwerte bei steigendem Zinssatz [€/ha]

Entsprechend der beschriebenen Ergebnisse liegen die internen Verzinsungen¹²¹ der behandelten Variante bei den ersten vier Ernteverfahren über den internen Verzinsungen der unbehandelten Variante (Tab. 5.12). Bei den Verfahren „Seil bergauf“ und „Seil bergab“ ist dies umgekehrt.

¹²¹ Verzinsung, bei welcher der Kapitalwert gleich Null wird.

Tab. 5.12: Interne Verzinsung

	Interne Verzinsung (%)	
	behandelt	unbehandelt
Harvester	3,6	2,8
Kombiniert	3,2	2,6
Vollbaum	2,4	2,35
Schlepper	2,75	2,45
Seil bergauf	1,55	1,95
Seil bergab	0,95	1,7

5.3.4 Bewertung der Behandlungsvarianten im Rahmen der Risikoanalyse

5.3.4.1 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen

Aus den 5000 Simulationsläufen der Monte-Carlo-Simulation, welche das Risiko von veränderlichen Holzpreisen und Schadereignissen berücksichtigten, wurden zunächst Mittelwerte und Standardabweichungen für die Kapitalwerte errechnet (Tab. 5.13 und Tab. 5.14).

Tab. 5.13: Kapitalwerte und deren Standardabweichungen unter Berücksichtigung des moderaten Risikos.

Moderates Risiko	Kapitalwert (€/ha)			
	Mittelwert		Standardabweichung	
	behandelt	unbehandelt	behandelt	unbehandelt
Harvester	4.928	2.026	2.574	2.328
Kombiniertes Verfahren	2.723	723	2.447	2.427
Schlepper	1.081	-33	2.401	2.603
Vollbaumverfahren	-17	-443	2.371	2.802
Seil bergauf	-2.199	-1.926	2.235	2.804
Seil bergab	-3.331	-2.382	2.210	2.972

Tab. 5.14: Kapitalwerte und deren Standardabweichungen unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos.

Erhöhtes Risiko	Kapitalwert (€/ha)			
	Mittelwert		Standardabweichung	
	behandelt	unbehandelt	behandelt	unbehandelt
Harvester	3.214	606	2.954	2.269
Kombiniertes Verfahren	1.177	-757	2.639	2.326
Schlepper	-405	-1.553	2.475	2.539
Vollbaumverfahren	-1.401	-2.155	2.426	2.818
Seil bergauf	-3.439	-3.542	2.201	2.810
Seil bergab	-4.504	-4.086	2.191	3.054

Vor allem die Berücksichtigung von Schadereignissen und den damit verbundenen Mindererlösen sorgt dafür, dass die Kapitalwerte deutlich geringer ausfallen als bei der Berechnung ohne Berücksichtigung von Risiko (vgl. Abb. 5.14 und Abb. 5.15).

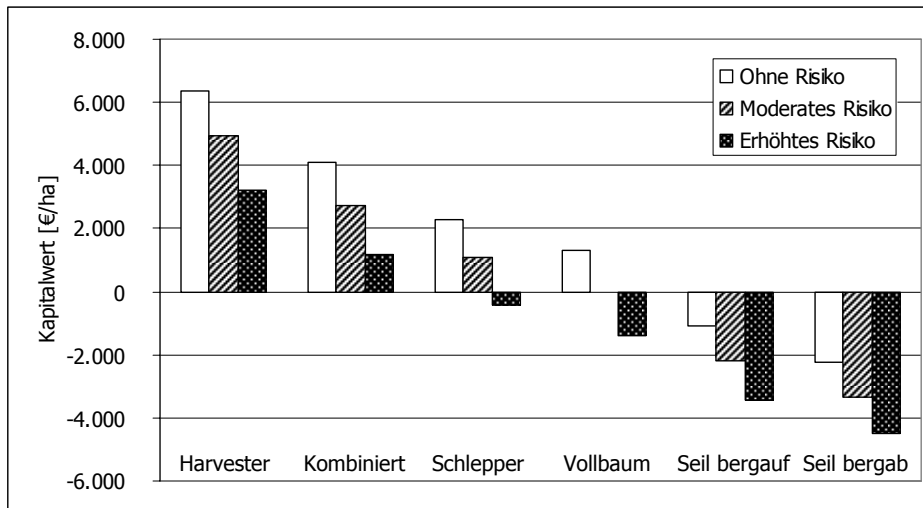


Abb. 5.14: Kapitalwerte der behandelten Variante unter verschiedenen Risiken

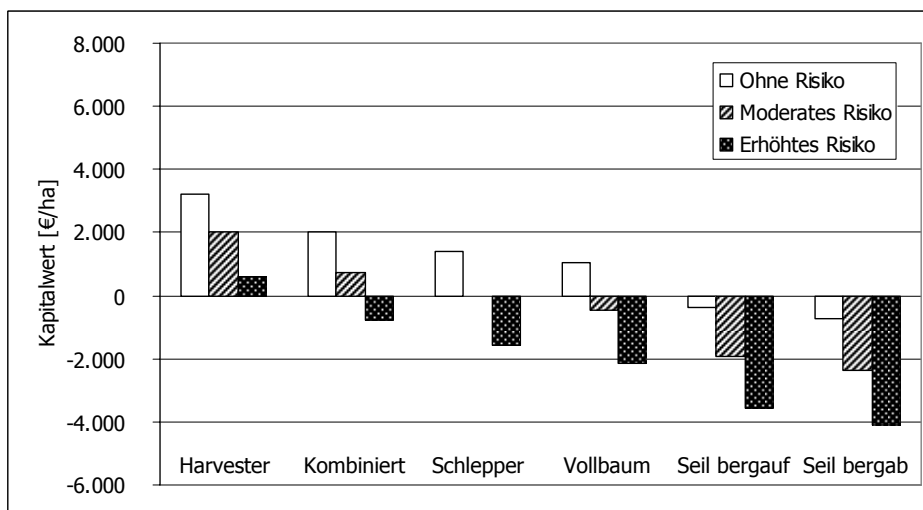


Abb. 5.15: Kapitalwerte der unbehandelten Variante unter verschiedenen Risiken

Abb. 5.16 und Abb. 5.17 geben Aufschluss darüber, ob sich durch die Berücksichtigung des Risikos Änderungen hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit einer waldbaulichen Behandlung einstellen. Es sind wiederum die Differenzen aus den Kapitalwerten der behandelten Variante und den Kapitalwerten der unbehandelten Variante dargestellt.

Unterstellt man Überlebenswahrscheinlichkeiten unter moderatem Risiko, dann bleibt die grundsätzliche Reihung der Behandlungsvarianten gegenüber der Betrachtung ohne Risiko in Kap. 5.3.2.2. erhalten. Ist das Gelände bzw. der Fichtenbestand so geartet, dass eines der Ernteverfahren „Harvester“, „Kombiniert“, „Schlepper“ oder „Vollbaum“ zum Einsatz kommen kann, so schneidet die Behandlungsvariante finanziell vorteilhafter ab als die Variante ohne

Behandlung. Muss bergauf oder bergab geseilt werden, schneidet die unbehandelte Variante besser ab.

Generell werden die Differenzen durch die Berücksichtigung des Risikos etwas gedämpft. Der finanzielle Vorteil der Behandlungsvariante innerhalb der ersten vier Verfahren fällt etwas geringer aus, als bei der Kalkulation ohne Risiko. Demgegenüber ist der finanzielle Nachteil für die beiden Seilverfahren etwas kleiner.

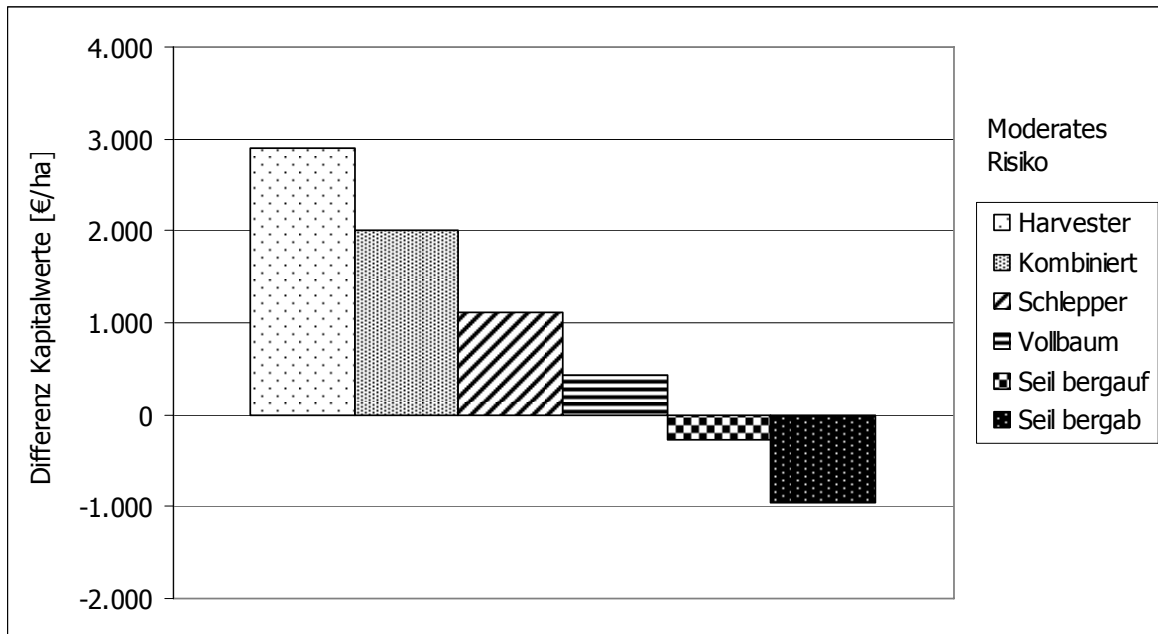


Abb. 5.16: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha] unter Berücksichtigung des moderaten Risikos. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante.)

Unter Annahme des erhöhten Risikos ändert sich die Situation bei einem Ernteverfahren. Im Verfahren „Seil bergauf“ schneidet jetzt die Behandlungsvariante finanziell vorteilhafter ab. Zwar ist der mittlere Kapitalwert für dieses Ernteverfahren bei beiden Varianten negativ (vgl. Abb. 5.14 und Abb. 5.15), aber in der behandelten Variante fällt dieses Defizit im Mittel nicht so hoch aus wie in der unbehandelten Variante.

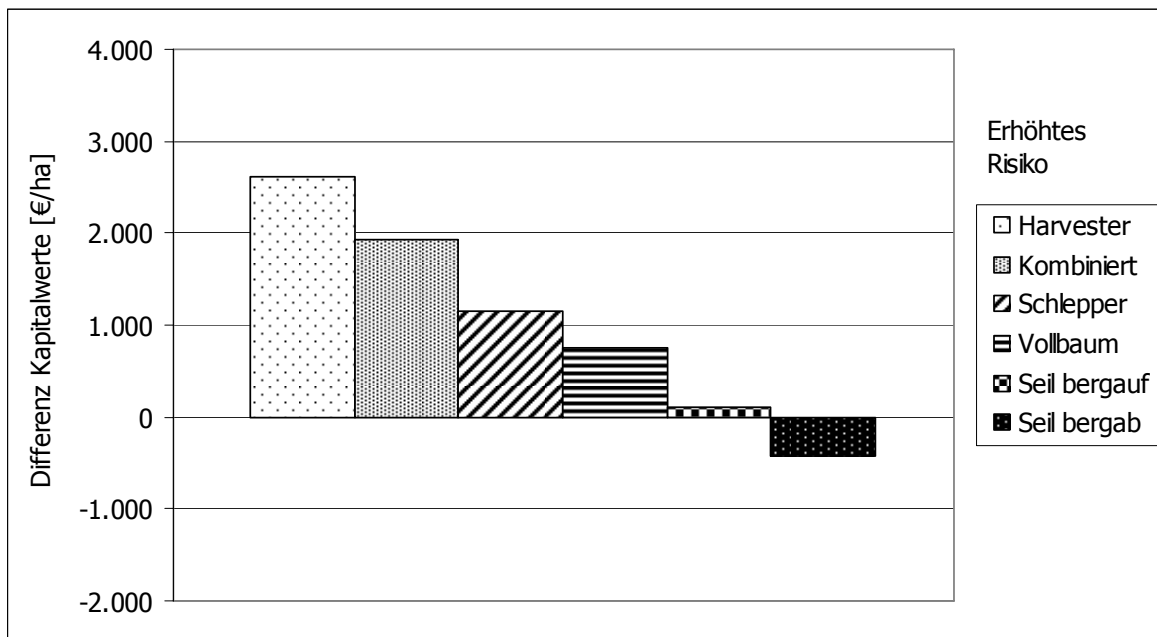


Abb. 5.17: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha] unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante.)

5.3.4.2 Beurteilung der Handlungsoptionen anhand der $\mu - \sigma$ -Regel

Im Gegensatz zur reinen Betrachtung der mittleren Kapitalwerte unter Risiko berücksichtigt die $\mu - \sigma$ -Regel auch die Streuung dieser Werte. Wie in Kapitel 5.2.3.3. erläutert, wird dazu ein Sicherheitsäquivalent errechnet, das anzeigt, welchen sicheren Kapitalwert der Entscheider einem mit Risiko behafteten Kapitalwert gleichsetzen würde. Abgesehen von der bestehenden Risikosituation (moderates oder erhöhtes Risiko) können Entscheidungsträger unterschiedliche Risikoaversionen aufweisen. Gerade im Bergwald erwartet man von verantwortungsbewussten Forstleuten zumindest eine normale, in manchen Bereichen auch eine hohe Risikoaversion, insbesondere wenn sie Wälder der öffentlichen Hand bewirtschaften.¹²² Nachdem hier also risikoscheue Entscheider unterstellt werden, liegt der Wert des Sicherheitsäquivalentes immer unter dem risikobelasteten durchschnittlichen Kapitalwert (vgl. Sicherheitsäquivalente in Tab. 5.15 und Tab. 5.16 mit den Kapitalwerten in Tab. 5.13 und Tab. 5.14).

¹²² Die Risikoaversion in Schutzwäldern ist zunächst zwar keine finanzielle sondern eine naturale. Man möchte Kalamitäten in Schutzwäldern vermeiden, um die Schutzwirkung nicht zu gefährden. In vielen Fällen ist diese naturale Risikoaversion aber mit einer finanziellen gleichzusetzen, denn die Kalamitäten sorgen auch für finanzielle Einbußen.

Tab. 5.15: Sicherheitsäquivalente bei normaler und hoher Risikoaversion unter Berücksichtigung des moderaten Risikos.

Moderates Risiko	Sicherheitsäquivalent (€/ha)			
	normale Risikoaversion		hohe Risikoaversion	
	behandelt	unbehandelt	behandelt	unbehandelt
Harvester	3.702	1.022	2.475	19
Kombiniert	1.614	-368	506	-1.459
Schlepper	13	-1.288	-1.054	-2.542
Vollbaum	-1.058	-1.896	-2.099	-3.350
Seil bergauf	-3.124	-3.382	-4.049	-4.837
Seil bergab	-4.235	-4.017	-5.140	-5.653

Tab. 5.16: Sicherheitsäquivalente bei normaler und hoher Risikoaversion unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos.

Erhöhtes Risiko	Sicherheitsäquivalent (€/ha)			
	normale Risikoaversion		hohe Risikoaversion	
	behandelt	unbehandelt	behandelt	unbehandelt
Harvester	1.598	-347	-18	-1.300
Kombiniert	-112	-1.759	-1.401	-2.762
Schlepper	-1.539	-2.747	-2.673	-3.940
Vollbaum	-2.491	-3.625	-3.581	-5.096
Seil bergauf	-4.336	-5.004	-5.233	-6.466
Seil bergab	-5.393	-5.812	-6.282	-7.539

In vielen Fällen liegen die Sicherheitsäquivalente im negativen Bereich. So sind bei hohem Risiko und hoher Risikoaversion sogar alle Sicherheitsäquivalente negativ, selbst die der harvestertauglichen Bestände.

Dabei gewinnt aber die behandelte Variante unter Berücksichtigung der Streuung weiter an finanzieller Attraktivität, da hier eher noch positive Äquivalente erreicht werden bzw. die negativen Äquivalente weniger stark ausgeprägt sind (Abb. 5.18 und Abb. 5.19).

Nur noch im Falle der Bergabseilung bei moderatem Risiko und normaler Risikoaversion schneidet die unbehandelte Variante besser ab als die behandelte.

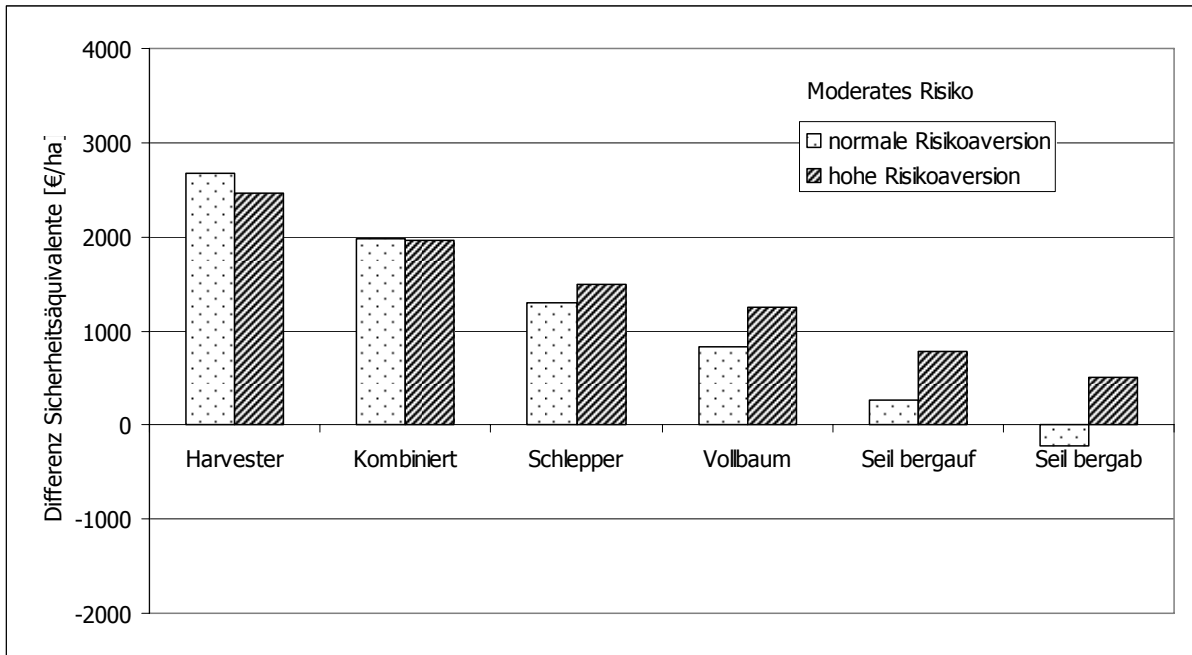


Abb. 5.18: Differenzen der Sicherheitsäquivalente [€/ha] unter Berücksichtigung des moderaten Risikos bei normaler und hoher Risikoaversion. (Sicherheitsäquivalent der behandelten Variante abzüglich Sicherheitsäquivalent der unbehandelten Variante.)

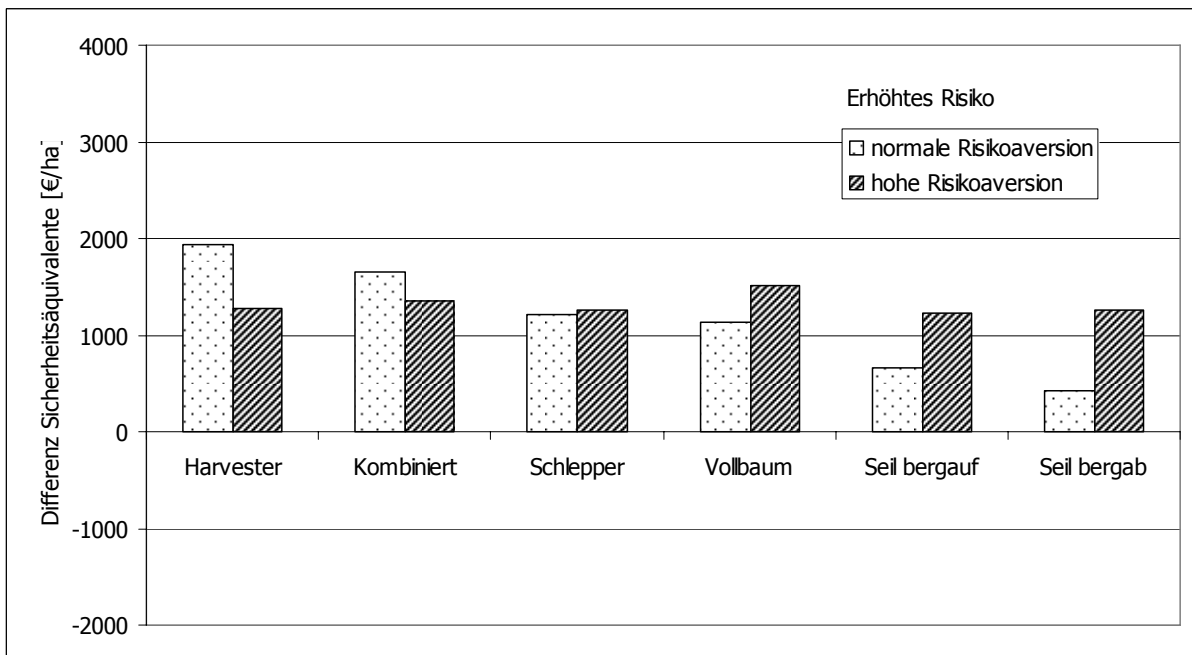


Abb. 5.19: Differenzen der Sicherheitsäquivalente [€/ha] unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos bei normaler und hoher Risikoaversion. (Sicherheitsäquivalent der behandelten Variante abzüglich Sicherheitsäquivalent der unbehandelten Variante.)

5.3.4.3 Beurteilung der Handlungsoptionen anhand der Stochastischen Dominanz

Die Beurteilungskriterien der Stochastischen Dominanz gehen, wie in Kapitel 5.2.3.4. beschrieben, noch etwas weiter als die $\mu - \sigma$ -Regel, da hier nicht nur die Mittelwerte und Varianzen der simulierten Kapitalwerte in die Bewertung eingehen, sondern die gesamte Häufigkeits- bzw. Wahrscheinlichkeitsverteilung.

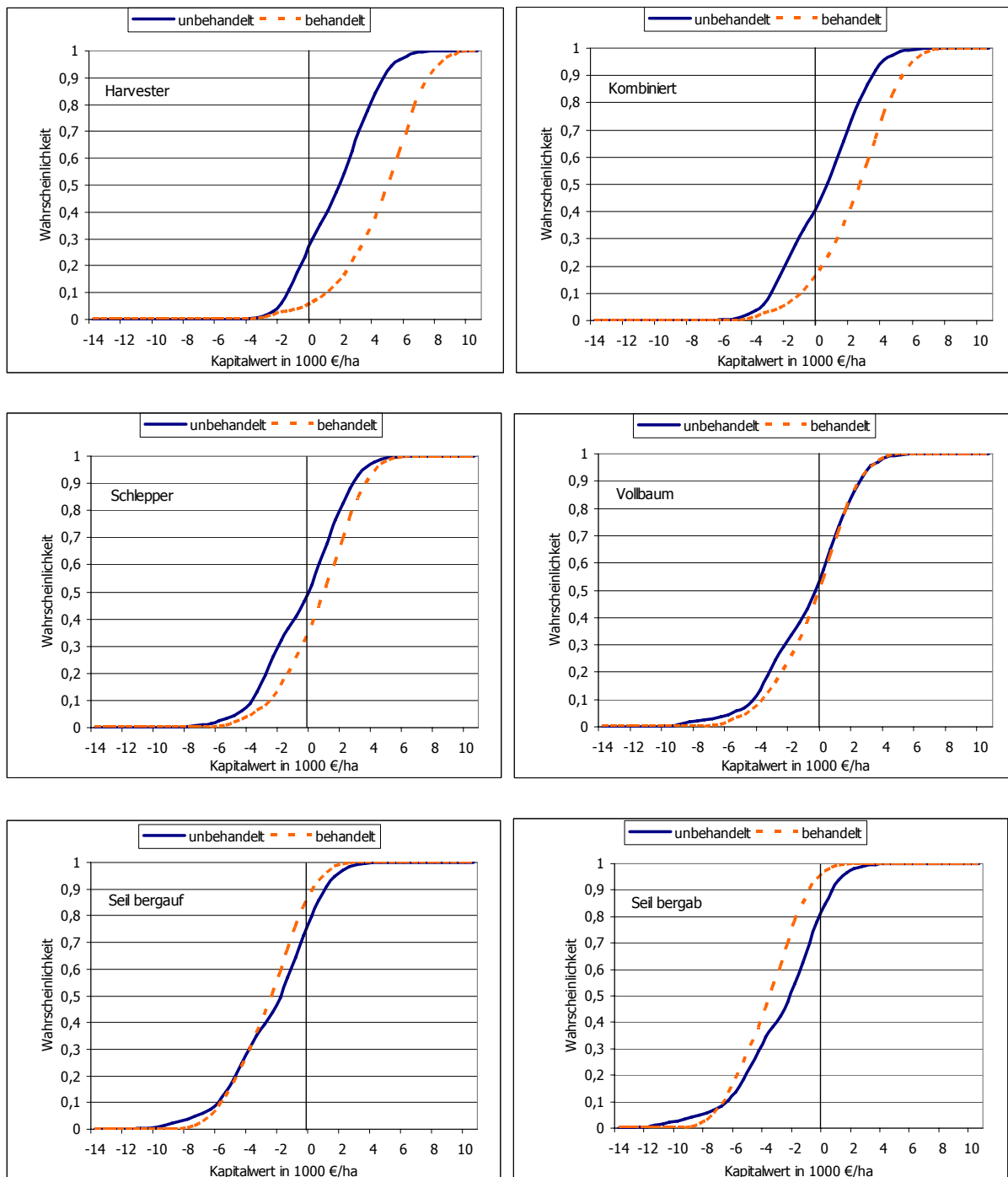


Abb. 5.20: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kapitalwerte unter Annahme der Überlebenswahrscheinlichkeiten bei moderatem Risiko

Nach dem Gesetz der großen Zahlen können die Häufigkeitsverteilungen aus den 5000 Simulationsdurchgängen mit den Wahrscheinlichkeitsverteilungen gleichgesetzt werden. Abb. 5.20 und Abb. 5.21 zeigen diese Verteilungen für beide Behandlungsoptionen, getrennt nach den Ernteverfahren.

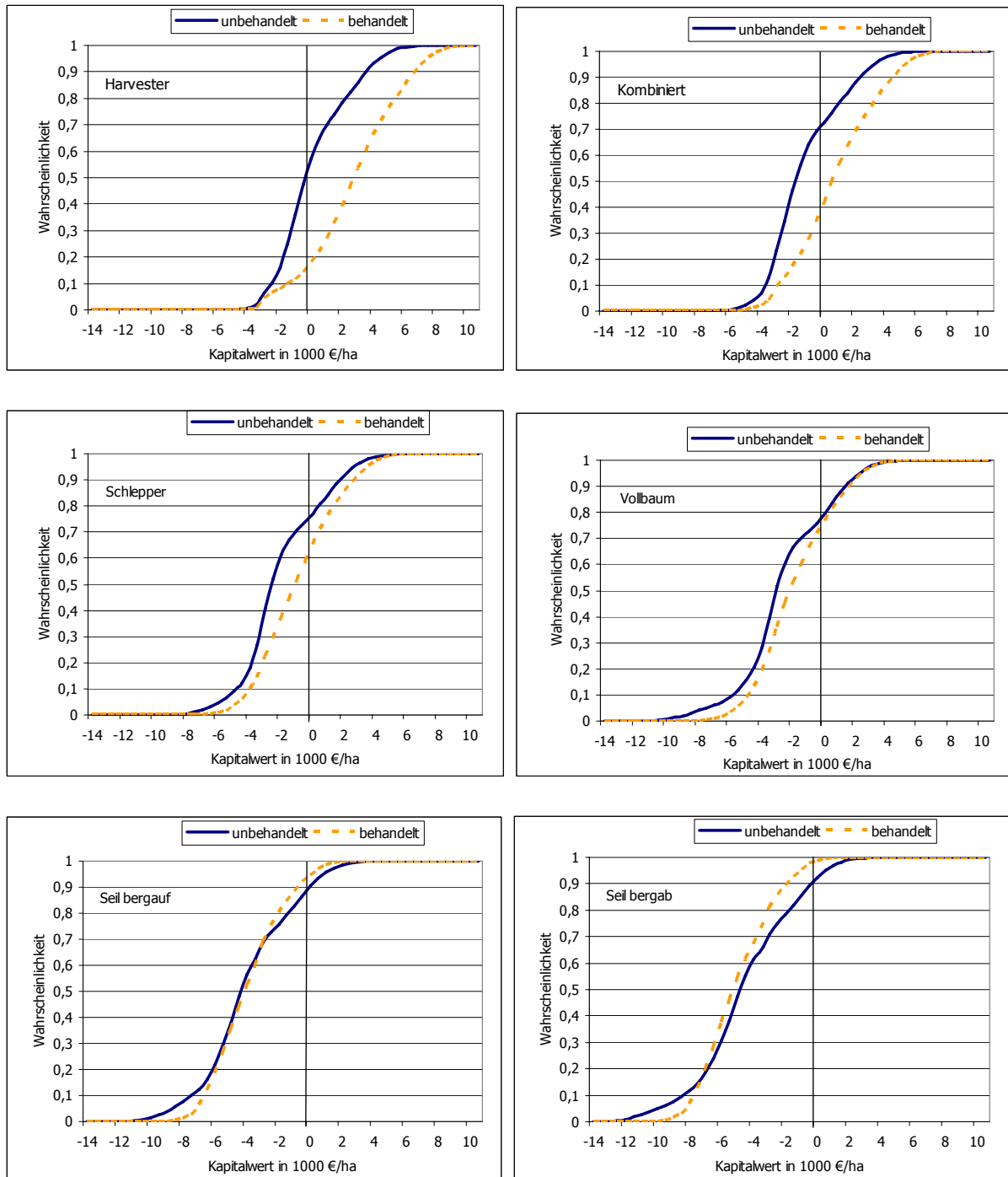


Abb. 5.21: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kapitalwerte unter Annahme der Überlebenswahrscheinlichkeiten bei erhöhtem Risiko

Anhand der Hilfslinie bei einem Kapitalwert von Null in Abb. 5.20 und Abb. 5.21 kann man für jedes Ernteverfahren leicht ablesen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein negativer bzw. ein positiver Kapitalwert erzielt wird. Betrachtet man beispielsweise die Verteilungen beim Ernteverfahren „Harvester“ unter Annahme des erhöhten Risikos, dann liegt bei der behandelten Variante die Wahrscheinlichkeit, einen negativen Kapitalwert zu erzielen, bei ca. 0,15. Die Wahrscheinlichkeit, einen positiven Kapitalwert zu erzielen, liegt demnach bei $1-0,15$, also bei 0,85.

In der unbehandelten Variante liegt die Wahrscheinlichkeit für einen positiven Kapitalwert dagegen nur bei $1-0,5$, also bei 0,5.

Gemäß der stochastischen Dominanz erster Ordnung (FSD = First degree stochastic dominance) dominiert die behandelte Variante die unbehandelte, wenn in der kumulativen Wahrscheinlichkeitsverteilung alle x-Werte der behandelten Variante unter denen der unbehandelten Variante liegen. Dies kann man entweder direkt aus Abb. 5.20 und Abb. 5.21 ablesen, oder man bildet die Differenz aus den Werten der unbehandelten und der behandelten Variante (Abb. 5.22 und Abb. 5.23). Die resultierende Kurve muss bei mindestens einem x-Wert über Null und darf für keinen x-Wert unter Null liegen.

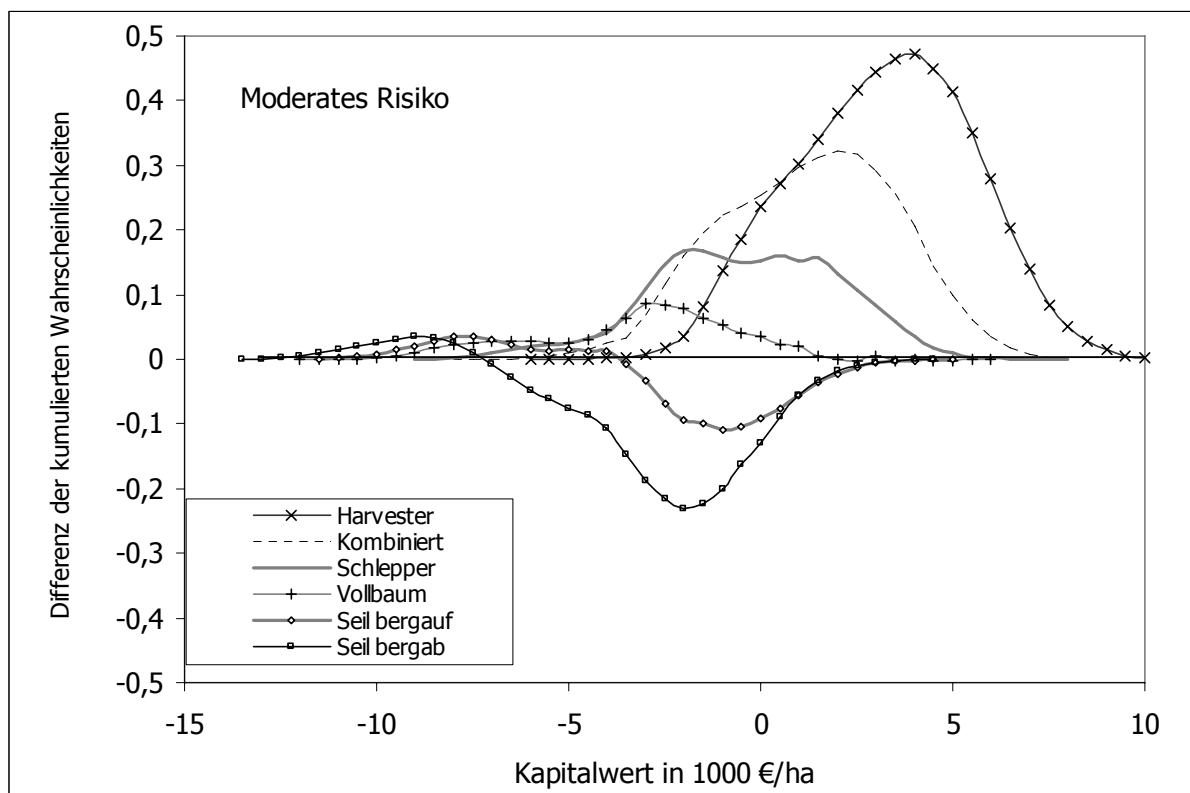


Abb. 5.22: Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehandelter Variante zur Beurteilung nach FSD (moderates Risiko unterstellt)

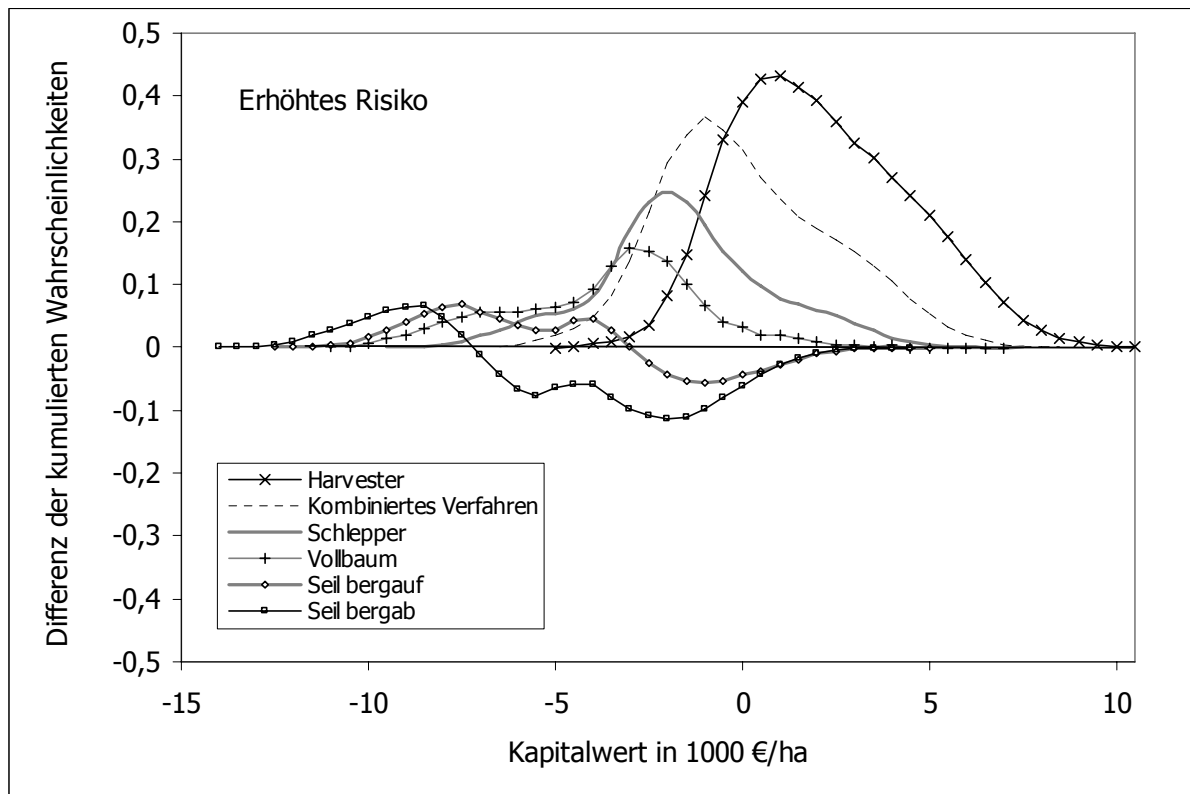


Abb. 5.23: Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehandelter Variante zur Beurteilung nach FSD (erhöhtes Risiko unterstellt)

Legt man das moderate Ausfallrisiko an (Abb. 5.22), so dominiert die behandelte Variante die unbehandelte bei den Ernteverfahren „Harvester“, „Kombiniert“, und „Schlepper“. Bei den beiden Seilverfahren liegt die Differenzkurve dagegen über weite Strecken unter Null. Auch für das Vollbaumverfahren kann keine Dominanz festgestellt werden, da die Kurve bei Kapitalwerten um 2000 bis 2500 € kurzfristig unter Null sinkt. Wenn die Kurve sowohl Werte über als auch unter Null aufweist, kann nach der Entscheidungsregel der stochastischen Dominanz erster Ordnung weder die behandelte noch die unbehandelte Variante bevorzugt werden.

Unter Annahme des erhöhten Risikos (Abb. 5.23) ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim niedrigeren Risiko. Auch hier sinkt die Differenzkurve für das Vollbaumverfahren am Ende der Kurve kaum sichtbar unter Null, sodass die Voraussetzungen für eine Dominanz der behandelten Variante nicht erfüllt sind. Dasselbe Problem ergibt sich hier unerwarteterweise aber auch für das Harvesterverfahren: der erste x-Wert liegt knapp unter Null.

Die Beurteilungsmöglichkeiten nach FSD sind oft limitiert, da die Kriterien so vorsichtig ausgelegt sind, dass die Entscheidungen für alle Entscheidungsträger, unabhängig von deren Risikoaversion, gelten. Dagegen können mittels der stochastischen Dominanz zweiter Ord-

nung (SSD = Second degree stochastic dominance) oft noch weitere Abwägungen getroffen werden, da hier das Feld der Entscheider wie bei der $\mu - \sigma$ -Regel auf risikoaverse Personen eingeschränkt wird.¹²³ Gemäß der Gleichung 5.8 aus Kapitel 5.2.3.4. wird hierbei das Integral über die Differenzen aus den kumulierten Wahrscheinlichkeiten gebildet (KRUSCHWITZ 2007). Die behandelte Option dominiert wiederum die unbehandelte, wenn die Integralkurve im gesamten Bereich größer oder gleich Null ist.¹²⁴

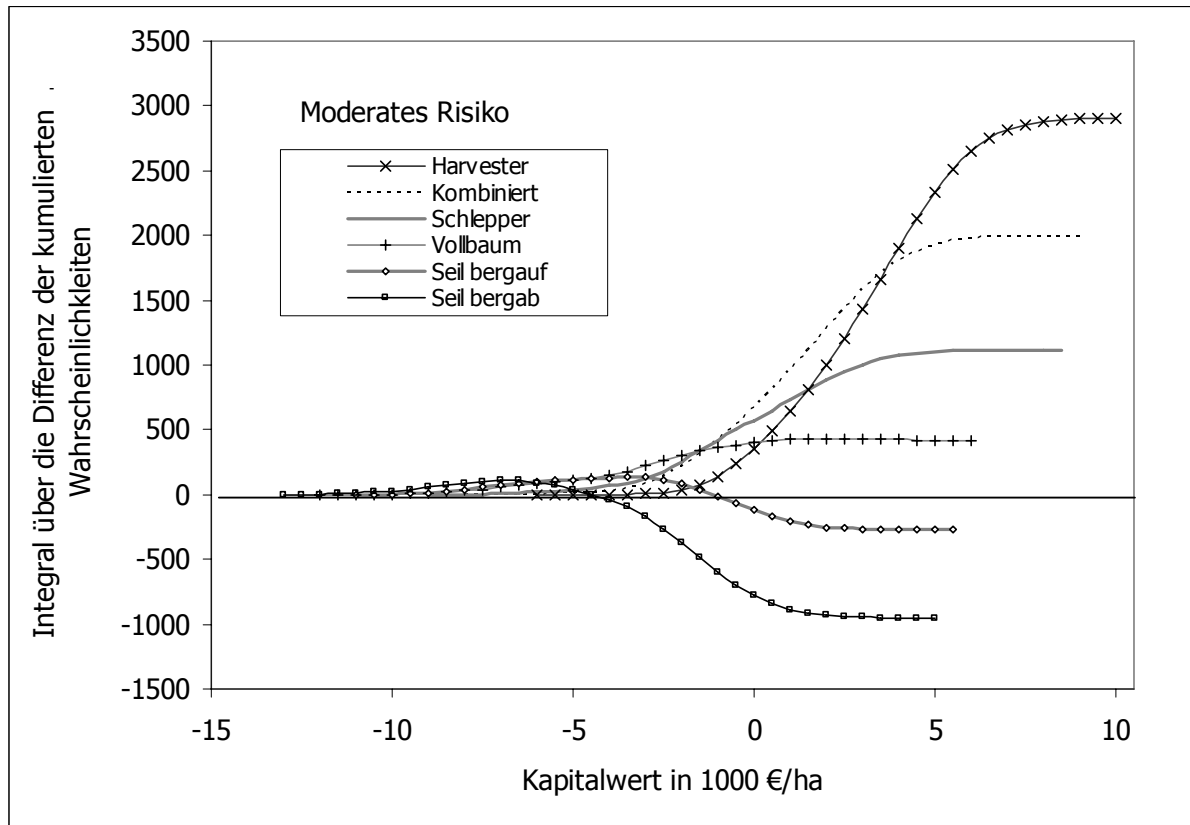


Abb. 5.24: Integral über die Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehalteter Variante zur Beurteilung nach SSD (moderates Risiko unterstellt)

Legt man SSD als Beurteilungsmaßstab an, so dominiert unter Annahme des moderaten Risikos (Abb. 5.24) die Behandlungsvariante nicht nur für die Verfahren „Harvester“, „Kombiniert“ und „Schlepper“, sondern auch klar beim Vollbaumverfahren. Lediglich bei den beiden Seilverfahren kann weiterhin keine Dominanz festgestellt werden.

¹²³ $\mu - \sigma$ -Regel und SSD legen allerdings unterschiedliche Risikoaversionen zugrunde. Darauf soll hier aber nicht näher eingegangen werden.

¹²⁴ Sie muss für mindestens einen x-Wert über Null sein.

Beim erhöhten Risiko dominiert die behandelte Variante schließlich auch im „Seil bergauf“-Verfahren. Lediglich beim Verfahren „Seil bergab“ kann weiterhin keine Entscheidung getroffen werden (Abb. 5.25). Rein rechnerisch bleibt für die Entscheidung nach SSD beim Harvesterverfahren dasselbe Problem wie bei FSD. Weil gleich der erste x-Wert für die Differenz der kumulierten Wahrscheinlichkeiten negativ ist, ergibt sich auch beim Integral ein winziger Anfangsbereich, der negativ ist. Dieses Problem ist in der Literatur zur stochastischen Dominanz als „Left-tail“ Problem bekannt (VICKSON und ALTMANN 1977) und wird in der Diskussion kurz aufgegriffen. Aus pragmatischen Gründen wird dieser Effekt hier vernachlässigt und die behandelte Variante bei der Harvesterernte als „quasi dominierend“ angesehen.

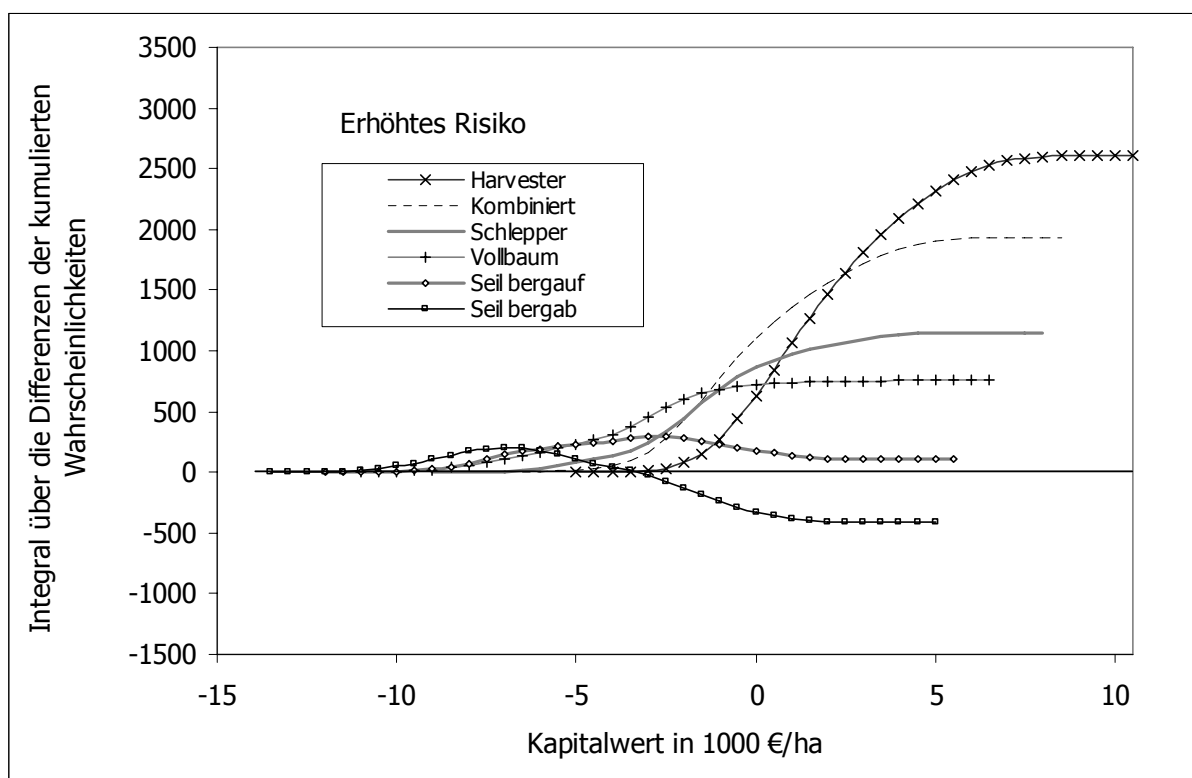


Abb. 5.25: Integral über die Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehandelter Variante zur Beurteilung nach der SSD (erhöhtes Risiko unterstellt)

5.3.4.4 Ergebniszusammenschau aus $\mu - \sigma$ -Regel und Stochastischer Dominanz

In Tab. 5.17 sind die Dominanzen für sämtliche verwendeten Entscheidungsregeln, Risiken und Risikoaversionen zusammengestellt. Demnach ist die behandelte Variante bei Einsatzmöglichkeit der Verfahren „Harvester“, „Kombiniert“ und „Schlepper“ generell als finanziell

vorteilhafter einzustufen als die unbehandelte. Die geringfügige Einschränkung beim Harvesterverfahren ist nicht praxisrelevant.¹²⁵

Auch für den Bereich der Vollbaumernte und sogar bei der Ernte im Verfahren „Seil bergauf“ kann eine generelle finanzielle Vorteilhaftigkeit der Behandlung konstatiert werden, sobald man von einer gewissen Risikoaversion des Entscheiders ausgeht.¹²⁶ Wie bereits erläutert, kann man diese aber bei forstlichen Wirtschaftern in der Regel unterstellen. Nach SSD dominiert die behandelte Variante im „Seil bergauf“-Verfahren aber nur bei erhöhtem Risiko.

Das Verfahren „Seil bergab“ ist letztlich das einzige Holzernteverfahren, bei dem die behandelte Variante auch bei Risikoaversion nicht zwangsläufig dominiert. Gemäß SSD kann hier in keinem Fall eine Entscheidung getroffen werden. Und gemäß der $\mu - \sigma$ -Regel bedarf es eines erhöhten Risikos oder zumindest einer hohen Risikoaversion, damit die behandelte Variante dominiert.

Tab. 5.17: Übersicht der Dominanzen aus $\mu - \sigma$ -Regel und stochastischer Dominanz (beh = behandelt, unbeh = unbehandelt, X = keine Entscheidung)

	Moderates Risiko				Erhöhtes Risiko			
	FSD	SSD	$\mu - \sigma$ normale Risiko- aversion	$\mu - \sigma$ hohe Risiko- aversion	FSD	SSD	$\mu - \sigma$ normale Risiko- aversion	$\mu - \sigma$ hohe Risiko- aversion
Harvester	beh	beh	beh	beh	X	(beh)	beh	beh
Kombiniert	beh	beh	beh	beh	beh	beh	beh	beh
Schlepper	beh	beh	beh	beh	beh	beh	beh	beh
Vollbaum	X	beh	beh	beh	X	beh	beh	beh
Seil bergauf	X	X	beh	beh	X	beh	beh	beh
Seil bergab	X	X	unbeh	beh	X	X	beh	beh

5.3.4.5 Finanzielle Betrachtung einer Jungwuchspflege ohne Ertrag

5.3.4.5.1 Finanzieller Spielraum für Jungwuchspflegemaßnahmen – ohne Berücksichtigung von veränderten Überlebenswahrscheinlichkeiten

In Kapitel 5.3.4.1. sind die mittleren Kapitalwerte für beide Behandlungsvarianten aus den Monte-Carlo-Simulationen dargestellt. Sofern in der behandelten Variante ein höherer Kapitalwert erzielt wird als in der unbehandelten, kann bis zu diesem Differenzbetrag in eine

¹²⁵ Wird in der Diskussion aufgegriffen.

¹²⁶ Nur dann können die stochastische Dominanz zweiter Ordnung und die $\mu - \sigma$ -Regel mit der hier unterstellten Nutzenfunktion zur Entscheidung herangezogen werden.

Jugendpflegemaßnahme investiert werden, ohne dass der Vorteil dieser Variante verloren geht. Geht man davon aus, dass die Pflege z.B. erst im Alter 20 stattfindet, muss der Differenzbetrag noch um diesen Zeitraum prolongiert werden (Abb. 5.26). Vergleicht man diese Werte mit den in der vorliegenden Studie angenommenen Kosten für eine Jungbestandspflege (JP) in Höhe von 650,- €, so könnte die JP in Beständen mit folgenden Erntemöglichkeiten durchgeführt werden: „Harvester“, „Kombiniert“, „Schlepper“, und „Vollbaum“ (letztere nur bei erhöhtem Risiko).

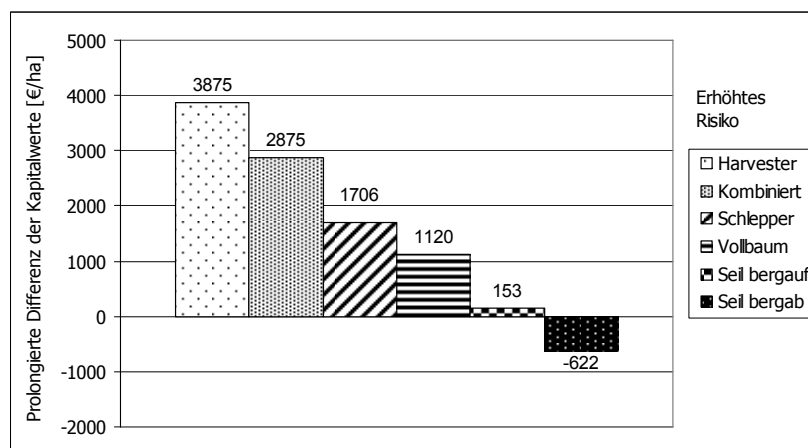
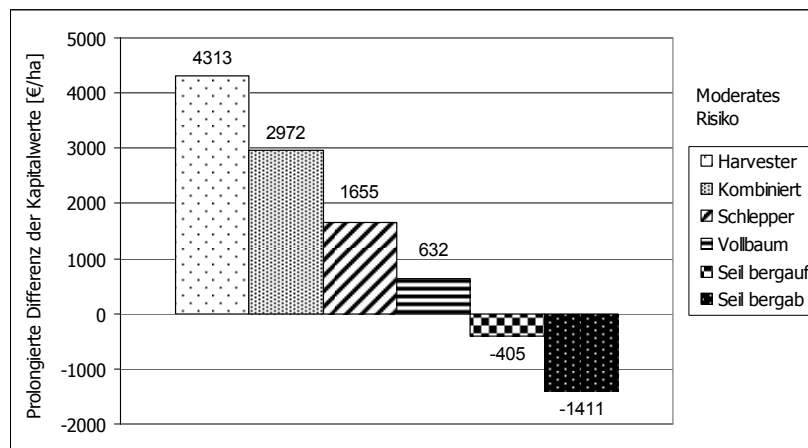


Abb. 5.26: Maximal einsetzbares Kapital für eine Jungbestandspflege ohne Ertrag. Unterstelltes Risiko: oben = moderates, unten = erhöhtes

Im Falle der Vollbaumernte bei moderatem Risiko und dem Verfahren „Seil bergauf“ bei erhöhtem Risiko würde sich durch die zusätzliche JP die finanzielle Rangfolge zugunsten der unbehandelten Variante verändern.

Bei den restlichen drei Ernte- und Risiko-Kombinationen schneidet die unbehandelte Variante auch ohne die JP schon günstiger ab.

5.3.4.5.2 Sensitivitätsanalyse: Auszahlungen für eine Jungwuchspflege contra erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeit

Mit diesem Ansatz sollte die Frage beantwortet werden, um wie viel die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Bestandes durch eine Jungbestandspflege steigen muss, damit die Investition für die Pflegemaßnahme kompensiert wird. Zunächst wurden die Auszahlungen für die JP-Maßnahme in die Monte-Carlo-Simulation (MCS) integriert. In einem iterativen Verfahren wurden dann mehrere MCS durchgeführt, bei denen die Überlebenskurven schrittweise angehoben wurden. Die Ausfallwahrscheinlichkeiten (= 1-Überlebenswahrscheinlichkeit) wurden um 1/6, 1/5, 1/4, 1/3 und schließlich um die Hälfte reduziert.

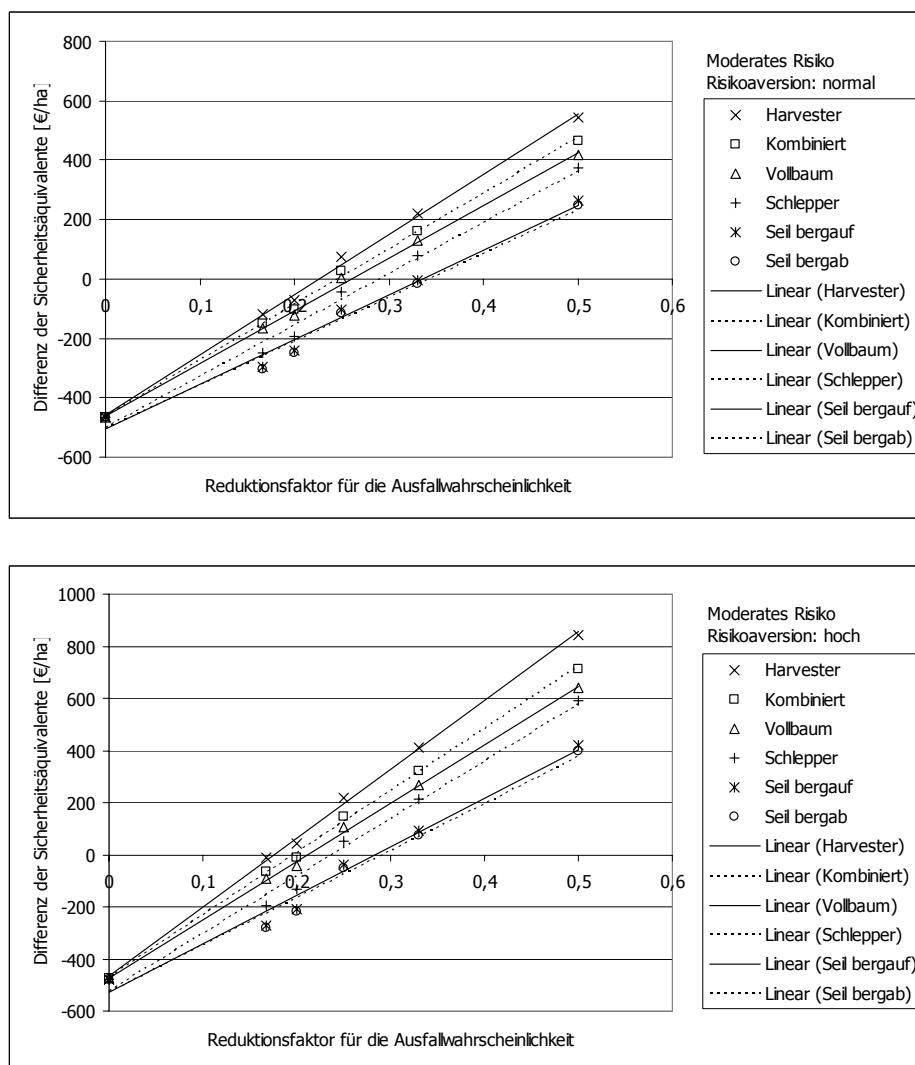


Abb. 5.27: Differenzen der Sicherheitsäquivalente mit JP und ohne JP bei unterschiedlichen Reduktionsfaktoren für die Ausfallwahrscheinlichkeit (Risiko = moderat, Risikoaversion: oben: normal, unten: hoch)

Für Abb. 5.27 und Abb. 5.28 wurde vom Sicherheitsäquivalent mit Pflegeinvestition das Sicherheitsäquivalent ohne Pflegeinvestition abgezogen. Nachdem die Investition den Kapitalwert und damit auch das Sicherheitsäquivalent verringert, ist die genannte Differenz bei gleichen Ausfallwahrscheinlichkeiten negativ. Wird aber unterstellt, dass sich durch die JP die Ausfallwahrscheinlichkeit verringert, dann schwindet die negative Differenz mit steigender Überlebenswahrscheinlichkeit, bis schließlich in der Variante mit JP sogar ein höheres Sicherheitsäquivalent erzielt wird als in der Variante ohne JP.

Anhand der Ausgleichsgeraden in Abb. 5.27 und Abb. 5.28¹²⁷ kann der Punkt abgelesen werden, wo sich das Sicherheitsäquivalent ohne JP und das Sicherheitsäquivalent mit JP und erhöhter Überlebenswahrscheinlichkeit gleichen. Ab diesem Schnittpunkt hat sich die Pflege aufgrund verringerter Schadereignisse gerade amortisiert. Je nach Ernteverfahren, Risiko und Risikoaversion liegt dieser Punkt bei Verringerungen der Ausfallwahrscheinlichkeit um 1/6 bis 1/3. Bei den günstigeren Ernteverfahren wird dieser break-even-point bereits bei geringeren Verbesserungen der Überlebenswahrscheinlichkeiten erreicht, bei den kostenintensiveren Verfahren ist ein größerer Effekt nötig. So genügt beim Harvesterverfahren unter moderatem Risiko und normaler Risikoaversion eine Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit um 1/5 bis 1/4, während bei Seilbeständen (bergab) eine Reduktion um 1/3 notwendig ist.

Unter erhöhtem Risiko liegt die notwendige Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit generell niedriger. In Harvesterbeständen liegt sie dann bei etwa 1/6, in Seilbeständen zwischen 1/4 und 1/3.

Der Einfluss der Risikoaversion auf die erforderliche Herabsetzung der Ausfallwahrscheinlichkeit hängt davon ab, ob die Streuung in den gepflegten Beständen höher oder niedriger ist als in den nicht gepflegten Beständen. In den meisten Fällen ist sie niedriger, was dazu führt, dass bei hoher Risikoaversion der Reduktionsfaktor für die Ausfallwahrscheinlichkeit nicht so groß sein muss. Legt man beispielsweise unter moderaten Risikoverhältnissen beim Harvesterverfahren die hohe Risikoaversion zu Grunde, so führt dies in der Berechnung zu einem ähnlichen Ergebnis als würde das Risiko auf das erhöhte Niveau steigen. Die Ausfallwahrscheinlichkeit muss nur um knapp mehr als 1/6 sinken, damit sich die JP amortisiert.

In Kap. 5.4.2.3. werden theoretische Überlegungen angestellt, ob die hier errechneten notwendigen Steigerungen der Überlebenswahrscheinlichkeiten durch eine JP wohl erreicht werden können oder nicht.

¹²⁷ Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 0,94 und 0,98.

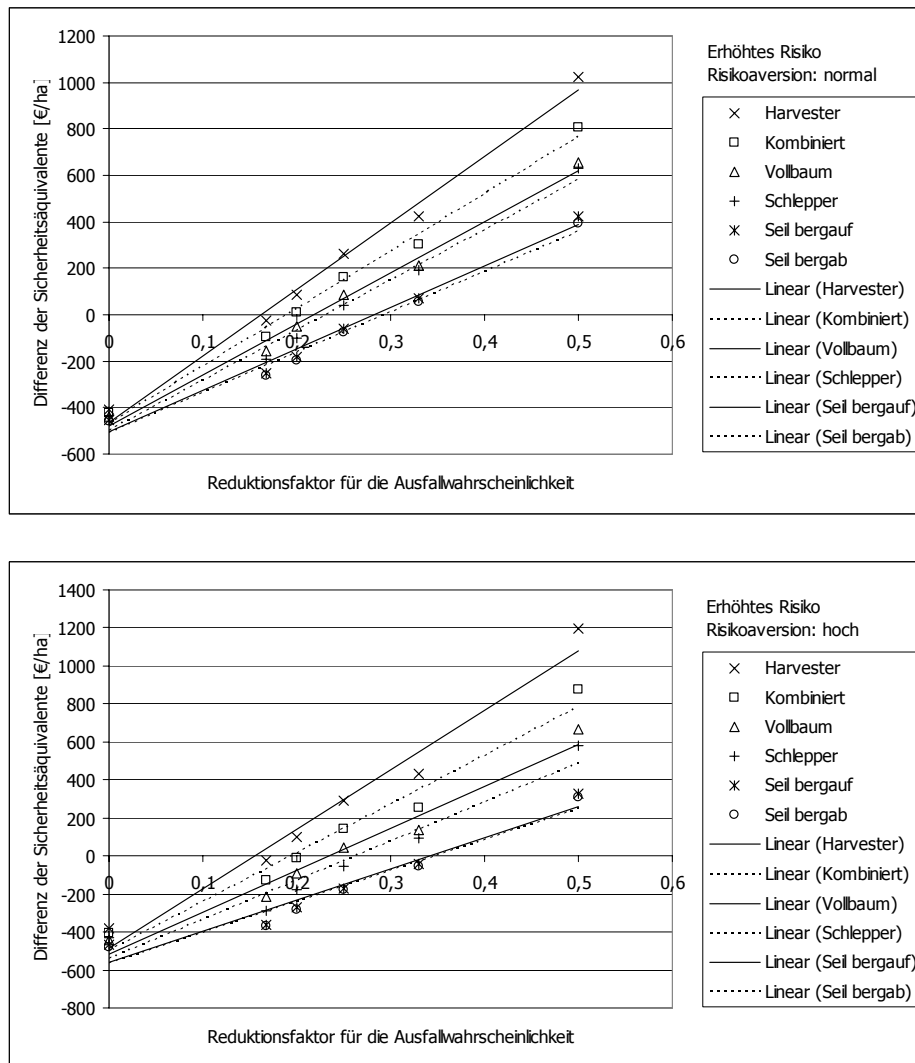


Abb. 5.28: Differenzen der Sicherheitsäquivalente mit JP und ohne JP bei unterschiedlichen Verringerungen der Ausfallwahrscheinlichkeit (Risiko = erhöht, Risikoaversion: oben: normal, unten: hoch)

5.4 Diskussion

5.4.1 Diskussion der Methoden

Für eine fundierte finanzielle Beurteilung der beiden Handlungsoptionen „behandeln“ und „nicht behandeln“ in den Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe ist es unerlässlich, einerseits die Knappheit von Finanzmitteln und andererseits verschiedene Risiken in die Berechnungen einzubeziehen. Im Folgenden soll kritisch beleuchtet werden, ob die verwendeten Methoden für eine Beurteilung geeignet waren.

5.4.1.1 Deterministische Bewertungsmethoden

Die Berücksichtigung der Finanzmittelknappheit erfolgte durch die Kapitalwertmethode und die Annuitätenmethode. Diese sind anerkannte Methoden zur Beurteilung von Investitionen (KATO 1986, VAHS und SCHÄFER-KUNZ 2005, WÖHE 2005). Beide Methoden unterstellen einen vollkommenen Kapitalmarkt (d. h., Geld sei unbeschränkt zum selben Kalkulationszins leih- und investierbar) und dass sich der Zinssatz während des Investitionszeitraums nicht ändert (WÖHE 2005). Auch wenn diese Unterstellungen theoretischer Art sind (gerade bei den langen Investitionszeiträumen in der Forstwirtschaft kann sich beispielsweise das Zinsniveau ändern) wurden sie, wie bei Beurteilung von Investitionen üblich, als gegeben hingenommen. Die Verwendung des Kalkulationszinses in Höhe von 2% wurde bereits im Abschnitt „Material und Methoden“ begründet.

Entscheidend für realistische Ergebnisse bei Anwendung der Kapitalwert- und Annuitätenmethode sind jedoch vor allem die Eingangsgrößen, von denen im Folgenden einige diskutiert werden sollen.

Kulturkosten

Es wurden hier, wie bei derartigen Berechnungen üblich, Kulturbegründungskosten für die Bestände in Ansatz gebracht. Die Höhe dieser Kosten ist aufgrund aktueller Befragungen von Forstpraktikern realistisch. Es stellt sich allerdings die Frage, ob man überhaupt Kulturkosten ansetzen sollte, da man im Gebirge traditionell häufig mit Naturverjüngung arbeitet. In Anbetracht der Tatsache, dass dennoch immer wieder Ergänzungspflanzungen stattfinden und auch nach größeren Kalamitäten gepflanzt werden muss, erschien es jedoch sinnvoll, Kulturkosten anzusetzen. Zudem steht im Ausgangsbestand nicht immer die gewünschte Herkunft oder Mischung.

Nachdem für beide Varianten die gleichen Kosten angesetzt wurden, sind diese nur für die absoluten Kapitalwerte von Bedeutung und fallen beim Vergleich der Varianten nicht ins Gewicht. Würde man die Varianten allerdings über mehrere Umtriebszeiten vergleichen, müsste man berücksichtigen, dass durch die Behandlungen ggf. Mischbaumarten begünstigt werden und deshalb die Kulturkosten für den Folgebestand geringer ausfallen. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 5.4.2.2. noch diskutiert.

Verwaltungskosten

Auch den Ansatz von Verwaltungskosten kann man diskutieren: Anders als beispielsweise bei der Bodenertragswertformel nach FAUSTMANN (1849) üblich, wurden hier keine Verwaltungskosten berücksichtigt. Auf diese Kosten wurde bewusst verzichtet, da sich diese von Forstbe-

trieb zu Forstbetrieb stark unterscheiden können. Möchte man aber abschätzen, ob die Bewirtschaftung der Bestände unter Annahme bestimmter Verwaltungskosten defizitär ist, kann man die in Kap. 5.3.2.3. berechneten Annuitäten heranziehen (Hier allerdings noch ohne Risiko-Berücksichtigung). Von diesen müssen nur die angenommenen jährlichen Verwaltungskosten abgezogen werden. Generell wurde hier davon ausgegangen, dass sich die Verwaltungskosten eines Forstbetriebes hinsichtlich der beiden Handlungsoptionen nicht unterscheiden und diese deshalb auch nicht entscheidungsrelevant sind. Auch in der Variante „nicht behandeln“ muss Personal auf der Fläche vorhanden sein, um für Forstschutz, Verkehrssicherung etc zu sorgen. Bei Sturm-, Schnee-, oder Insektenschäden muss die Aufarbeitung des Schadholzes organisiert bzw. müssen anderweitige Forstschutzmaßnahmen eingeleitet werden. Dennoch könnte man mutmaßen, dass in der unbehandelten Variante Verwaltungskosten eingespart werden können, da beispielsweise die Eingriffe nicht ausgezeichnet werden müssen. Für eine solche Abschätzung wurde vorliegende Arbeit nicht konzipiert. Das Thema ist jedoch für Folgearbeiten sicherlich interessant.

Holzerntekosten

Mit der Berücksichtigung von sechs verschiedenen Ernteverfahren und der Befragung von Revierförstern und Servicestellenleitern beim Eruiere der Holzerntekosten wurde ein verhältnismäßig hoher Aufwand bei der Festlegung dieser Ausgaben betrieben. Dennoch liegen hier notgedrungen einige Vereinfachungen zu Grunde. So wurden keine tatsächlichen Holzerntekosten verwendet, sondern Marktpreise. Diese Marktpreise basieren immer auf Mischkalkulationen von Unternehmern, was den Blick auf die tatsächlichen Kosten erschwert (PAUSCH und PONITZ 2002). Der Unternehmer arbeitet in Beständen mit schwachen Sortimenten unter Umständen nicht kostendeckend, kompensiert dies aber mit der Aufarbeitung in Beständen mit stärkeren Sortimenten. Die tatsächlich anfallenden Kosten sind äußerst schwierig zu kalkulieren und hängen von vielen Eigenschaften der Erntebestände ab (PAUSCH 2005). Gerade im Gebirge gibt es sehr viele Einflussfaktoren und bisher gibt es nur wenige Studien, die sich mit der Wirkung dieser Faktoren auf die Kosten der Ernte befassen (STAMPFER 2001, 2002, NORDFJELL 2004).

Aufgrund der Verwendung dieser Marktpreise sind die Eingriffe in den vierzigjährigen Beständen möglicherweise mit zu geringen Kosten belastet. In der Praxis wird dieses Problem aber vermutlich so gelöst, dass der Aufarbeitungszopf größer gewählt wird.

Ein weiteres Problem, das auch die Eingriffe in den jüngsten Beständen betrifft, ist der Aufbau von Seilanlagen. In den jungen Beständen sind unter Umständen keine oder nur wenige geeignete Bäume vorhanden, um entsprechende Stützen zu bauen. In manchen Fällen sind

zwar größere Bäume aus dem Vorbestand vorhanden. Wenn es sich dabei aber beispielsweise um wertvolle samenspendende Altannen handelt, wird man diese nicht als Stützbäume opfern wollen. Auch dieser Umstand verteuert die Maßnahme in den Jugendstadien möglicherweise. So muss man ggf. künstliche Stützen bauen oder den Verlauf der Seillinie so wählen, dass man vorwüchsige Bäume erreicht, die als Stützen nutzbar sind.

Sortierung

Auch bei der Sortierung und der Einteilung in Güteklassen musste vereinfacht werden. So waren von den Fichten keine Durchmesser in 7 m Höhe vorhanden, weshalb die Sortierung in BDAT mit den Standard-Schaftformen erfolgen musste. Auch die unterschiedlichen Schälchadensanteile der Bestände wurden nicht in Ansatz gebracht. Dies geschah, um den Rahmen der Untersuchung nicht zu sprengen. Grundsätzlich wäre es aber denkbar und wünschenswert, in einer weiteren Studie zu untersuchen, welchen Einfluss es auf die finanzielle Entwicklung der Bestände hat, wenn bei den Durchforstungen gezielt geschälte Bäume entnommen werden und der Zuwachs auf ungeschälte Bäume gelenkt wird.

Vorratsentwicklungen

Eine weitere entscheidende Eingangsgröße für die Kapitalwertberechnungen stellt die Entwicklung des Vorrates in den Fichtenbeständen dar. Diese wurde anhand von Wuchsreihen abgebildet. Dabei ergeben sich gewisse Unschärfen, wenn die älteren Bestände nicht genau so behandelt wurden, wie dies bei den jüngeren aufgenommenen Beständen der Fall war. Die Alternative zur Anwendung des Wuchsreihenkonzeptes wäre die Verwendung eines Wachstumssimulators gewesen. Hier ergibt sich aber das Problem, dass diese Simulatoren entweder noch nicht oder nur unzureichend für den Gebirgsraum parametrisiert sind. Um sie in diesem Bereich einsetzen zu können sind entweder aufwändige Anpassungen (COURBAUD et al. 2001) oder gutachtliche Änderungen in den Eingangsgrößen der Simulatoren nötig (EDERER 2006). Im Vergleich zu diesen Möglichkeiten schien die Erstellung von Wuchsreihen praktikabler und vertrauenswürdiger.

5.4.1.2 Stochastische Bewertungsmethoden

Bei der Berücksichtigung des Risikos in der Beurteilung der Handlungsoptionen kam ein Komplex aus verschiedenen Methoden zur Anwendung. Zunächst wurde das Risiko mit der Monte-Carlo-Simulation quantifiziert, und dann mit den beiden Methoden $\mu - \sigma$ -Regel und Stochastische Dominanz in die Bewertung integriert.

Die Monte-Carlo-Methode hat sich im forstlichen Bereich generell für die Bearbeitung derartiger Fragestellungen bewährt (KLEMPERER 1996, DIETER 2001, KNOKE 2004b, c, HEIDINGSFELDER

und KNOKE 2004, KNOKE und MOSANDL 2004, KNOKE et al. 2005, KNOKE und WURM 2006, MERCER et al. 2007). Besondere Beachtung verdienen dabei aber die Überlebenswahrscheinlichkeiten als Eingangsgrößen. Die Tauglichkeit der verwendeten Überlebenskurven wird im folgenden Abschnitt diskutiert.

Mit der Verwendung von $\mu - \sigma$ -Regel und Stochastischer Dominanz zur Integration der Risiken in die Beurteilung der waldbaulichen Optionen wurden zwei Methoden verwendet, deren Vor- und Nachteile in der Literatur zur Finanzwirtschaft bereits seit den 70er Jahren ausführlich diskutiert werden (HANOCH und LEVY 1969, LEVY und SARNAT 1970, PORTER und GAUMNITZ 1972, PORTER 1973, VICKSON und ALTMANN 1977). Ein klarer Vorteil der Stochastischen Dominanz besteht dabei darin, dass der gesamte Verlauf der kumulativen Wahrscheinlichkeitsverteilung Grundlage der Beurteilung ist und nicht nur ein einzelnes Maß der Streuung, wie es bei der $\mu - \sigma$ -Regel der Fall ist und was bei HANOCH und LEVY (1969) kritisiert wird. Ein Problem bei der Entscheidung nach der Stochastischen Dominanz ist aber eine teils mangelnde Trennschärfe. Oft gibt es Fälle, in denen keine Entscheidung getroffen werden kann, da weder die eine noch die andere Handlungsoption dominiert.¹²⁸ Auch bei der vorliegenden Untersuchung traten Fälle auf, in denen keine Entscheidung getroffen werden konnte. Ein spezielles Problem stellt dabei das sogenannte „left-tail-problem“ dar (VICKSON und ALTMANN 1977), welches entsteht, wenn die kumulative Wahrscheinlichkeitskurve für die Kapitalwerte einer Variante trotz augenscheinlicher Überlegenheit dieser Option im äußersten linken Bereich unter der Kurve der konkurrierenden Variante liegt. In einem solchen Fall lässt sich weder nach FSD¹²⁹ noch nach SSD eine Dominanz feststellen. Auch die Stochastische Dominanz dritter Ordnung würde hier keine Abhilfe bringen. In der vorliegenden Untersuchung trat dieses Problem einmal im Bereich der Harvesterernte auf, wo die behandelte Variante ganz offensichtlich besser abschnitt als die unbehandelte. Das Problem wurde hier relativ pragmatisch gelöst, indem die betreffende Variante als „quasi dominierend“ bezeichnet wurde.

Bei Anwendung der $\mu - \sigma$ -Regel ergibt sich diese Schwierigkeit zwar nicht, dafür besteht aber die Notwendigkeit, eine geeignete Nutzenfunktion der Entscheider zu unterstellen und deren Risikoaversion abzuschätzen.

¹²⁸ Beispielsweise ist es im Rahmen der SSD nicht möglich, dass eine Variante die andere trotz geringerem Mittelwert dominiert.

¹²⁹ FSD= First Order Stochastic Dominance, SSD= Second Order Stochastic Dominance.

Im Bezug auf die hier bearbeiteten Fragestellungen lieferten beide Methoden wichtige Erkenntnisse. Dort, wo mit beiden Methoden Dominanzen festgestellt wurden, ergaben die Ergebnisse dieselbe Reihenfolge. Letztlich bot die $\mu - \sigma$ -Regel aber den Vorteil, dass auch im Bereich der defizitären Seilverfahren eindeutige Aussagen abgeleitet werden konnten.

5.4.1.3 Die verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten

Wie in Kapitel 5.2.3.2. beschrieben, wurden die verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten auf ihre Plausibilität geprüft. Dazu wurden die aus den Überlebenskurven errechneten ZE-Anfälle¹³⁰ mit den tatsächlichen jährlichen ZE-Anteilen im Zeitraum von 1990-2003 verglichen. Die prognostizierten ZE-Anteile aus der modifizierten Überlebenskurve von KÖNIG (1996) („moderates Risiko“) treffen die wahren Schadholzanteile sehr gut. Lediglich in Ruhpolding werden die Kalamitäten etwas überschätzt (Abb. 5.29). Die aus der Überlebenskurve für erhöhtes Risiko (BEINHOFER 2007, 2008) berechneten ZE-Anteile liegen deutlich darüber. Aus zweierlei Gründen hat die Berücksichtigung dieses höheren Risikoniveaus seine Berechtigung.

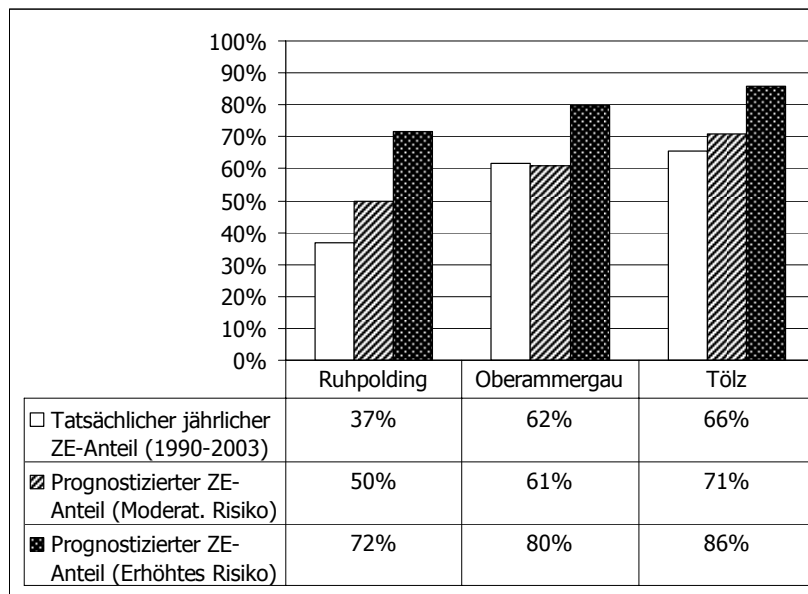


Abb. 5.29: Vergleich der tatsächlichen ZE-Anfälle (1990-2003) mit den aus den Überlebenskurven errechneten ZE-Anfällen.

Zum einen umfasste der Datensatz der Staatsforstverwaltung nur 14 Jahre (1990-2003) und es ist deshalb denkbar, dass entscheidende Jahre mit großen Schadereignissen nicht in die Mittelwertberechnungen eingeflossen sind. In Ruhpolding verursachte der Sturm „Kyrill“ im

¹³⁰ ZE = Zwangsbedingter Einschlag.

Jahr 2007 beispielsweise große Schäden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass im Zuge des Klimawandels die Kalamitäten in Fichtenbeständen der Berge zunehmen. Es wird beispielsweise schon jetzt beobachtet, dass die Aktivität des Borkenkäfers in höheren Lagen steigt (IMMLER und BLASCHKE 2007, ENGESSER et al. 2008). Insofern erscheint eine Berechnung mit etwas vorsichtigeren Annahmen hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeiten durchaus angebracht.

Bei der Auswahl geeigneter Überlebenswahrscheinlichkeiten stellte sich das grundsätzliche Problem, dass derzeit keine nutzbaren Überlebenskurven für Fichtenbestände im Gebirge existieren. MÜLLER (2002) hat zwar Überlebenskurven für Fichten verschiedener Höhenstufen entwickelt, aber hierbei wurden keine Daten aus den Alpen verwendet. Darüber hinaus steigen die Ausfallwahrscheinlichkeiten bei MÜLLER (2002) mit zunehmender Höhenlage. Es hätten sich also größere Ausfallwahrscheinlichkeiten als im Flachland ergeben. Aus den Ausfallwahrscheinlichkeiten der verwendeten Flachland-Kurven resultierten aber ohnehin schon prognostizierte Ausfälle in ausreichender Höhe.

Ein gewisser Nachteil liegt auch darin, dass für beide Behandlungsalternativen dieselben Überlebenswahrscheinlichkeiten verwendet werden mussten. Es ist bekannt, dass die Schadanfälligkeit von Waldbeständen kurz nach Durchforstungseingriffen steigt und schließlich aufgrund von Stabilisierungseffekten der Einzelbäume wieder abnimmt (vgl. Kap. 4.1.1.2.). Diese Entwicklungen konnten in die Berechnungen nicht einbezogen werden, da die Veränderungen von Überlebenswahrscheinlichkeiten aufgrund von Eingriffen bisher nicht quantifiziert wurden. Auch die in Kapitel 4.1.1.4. beschriebenen Sturmschadensmodelle können diese Frage bisher nicht befriedigend beantworten. Hier bietet sich noch ein breites Forschungsfeld, welches aber vermutlich nur durch sehr aufwändige Untersuchungen bearbeitet werden kann. Auch MOOG (1997) bezeichnete die Berücksichtigung von Unsicherheiten und Kalamitätsrisiken in forstbetriebswirtschaftlichen Forschungen als eine der wichtigsten derzeitigen Aufgaben der Forstökonomie.

5.4.2 Diskussion der Ergebnisse

5.4.2.1 Berücksichtigung von Finanzmittelknappheit

Betrachtet man beim Vergleich der Handlungsoptionen „behandeln“ oder „nicht behandeln“ alleine die Summe der Deckungsbeiträge, dann ist es irrelevant, wann Einzahlungen erfolgen. Aus dieser Sichtweise dürfte man die reinen Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone nur dann waldbaulich behandeln, wenn sie mit dem Harvester, dem kombinierten Verfahren oder dem Schlepper beerntet werden können.

Berücksichtigt man allerdings Kapitalmittelknappheit durch Diskontfaktoren, dann werden frühe Einzahlungen gegenüber späteren aufgewertet. Dies führt dazu, dass frühzeitige Eingriffe zur Erhöhung von Resistenz und Elastizität finanzielle Vorteile bringen. Unter diesen Voraussetzungen schneidet eine Behandlung auch dann noch vorteilhaft ab, wenn die Eingriffe mit dem Vollbaumverfahren getätigt werden müssen. Folglich wird durch die Berücksichtigung von Zinsen die waldbauliche Flexibilität erhöht. Während man in dem einen Fall (ohne Zinsberücksichtigung) den Bestand aus finanzieller Sicht bis ans Ende der Umtriebszeit wachsen lassen muss, kann man in dem anderen Fall (mit Zinsbetrachtung) frühere Eingriffe zur Erhöhung des Mischungsanteils, der Struktur und damit der Stabilität auch finanziell rechtfertigen. Nicht umsonst stellen sich Plenterwaldsysteme bei Berücksichtigung von Zinsen als finanziell recht vorteilhaft dar (KNOKE 1998a). Die entscheidende Rolle von frühen Einzahlungen wurde schon in verschiedenen Arbeiten herausgestellt, die sich mit dem Umbau von Fichtenbeständen in Mischbestände befassen. Im einen Fall halfen die frühen Einzahlungen, die Kosten für Buchenpflanzungen beim Umbau in Bergmischwälder zu dämpfen HANEWINKEL (2004, 2006), in den anderen Fällen schnitten die Umbauvarianten schon ab moderaten Zinsforderungen (0,8-2,6%) generell finanziell besser ab als die Reinbestandsvarianten (PLUSZYK 2000, KNOKE und PLUSZYK 2001, BITTER und SCHÖNBACH 2004, KNOKE 2004a). KNOKE (1998b) kam hinsichtlich stabilisierender Durchforstungseingriffe in Fichtenreinbeständen zum gleichen Ergebnis. Auch ohne Berücksichtigung von Stabilisierungseffekten schnitten die Durchforstungsvarianten ab Verzinsungen von 2% besser ab als die undurchforsteten.

Der Vorteil früher Eingriffe besteht bei einer reinen Berücksichtigung der Zinsen allerdings nur, solange diese Eingriffe einen positiven Deckungsbeitrag bringen. Handelt es sich um investive Eingriffe, bedarf es der Berücksichtigung anderer Aspekte, damit die Behandlungsvariante besser abschneiden kann als die unbehandelte Variante. Ein Aspekt könnte dabei Naturverjüngung sein, welche die Kulturkosten für den Folgebestand senkt. Ein anderer Aspekt ist die Berücksichtigung von Kalamitätsrisiken.

5.4.2.2 Berücksichtigung von Naturverjüngung

Die Ergebnisse der naturalen Studie haben gezeigt, dass in den behandelten Beständen entwicklungsfähige Naturverjüngung entsteht, während dies in den unbehandelten Beständen praktisch nicht der Fall ist. Insofern könnte man als zusätzlichen finanziellen Vorteil einer waldbaulichen Behandlung reduzierte Kulturkosten für den Folgebestand in Ansatz bringen. Allerdings wirkt sich dieser Effekt nicht besonders stark aus, da die eingesparten Kosten über die gesamte Umtriebszeit diskontiert werden müssen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen.

Die Kulturkosten werden sicher auch bei waldbaulicher Behandlung nicht zur Gänze eingespart, da auch hier Ergänzungspflanzungen ratsam sind. Die Feldstudie hat ergeben, dass in den behandelten Beständen im Mittel etwa 1000 Pflanzen/ha ab 20 cm, auf den verjüngungsreicheren Parzellen etwa 3000 Pflanzen/ha ab 20 cm stehen. Unabhängig davon, wie viele Pflanzen nun ergänzend ausgebracht werden, wird hier angenommen, dass aufgrund der waldbaulichen Behandlung pro Hektar etwa 2000 Pflanzen eingespart werden können. Wie in Kap. 5.2.1.2. beschrieben, werden die Kosten pro Pflanze incl. Pflanzung auf ca. 1,35 € angesetzt. Daraus ergibt sich eine Ersparnis von 2700,-€/ha. Auf den Anfangszeitpunkt der Finanzbetrachtung diskontiert, verbleiben davon 373,-€/ha.

Dies ist durchaus ein Effekt, der den Vorteil einer waldbaulichen Behandlung erhöht und den man in die Gesamtbetrachtung einbeziehen sollte. Allerdings reicht er nicht aus, um die Rangfolge zwischen der Variante „behandelt“ und „unbehandelt“ bei einem der Ernteverfahren zu ändern. Dies zeigt ein Vergleich von Abb. 5.30 mit Abb. 5.9 in Kapitel 5.3.2.2.

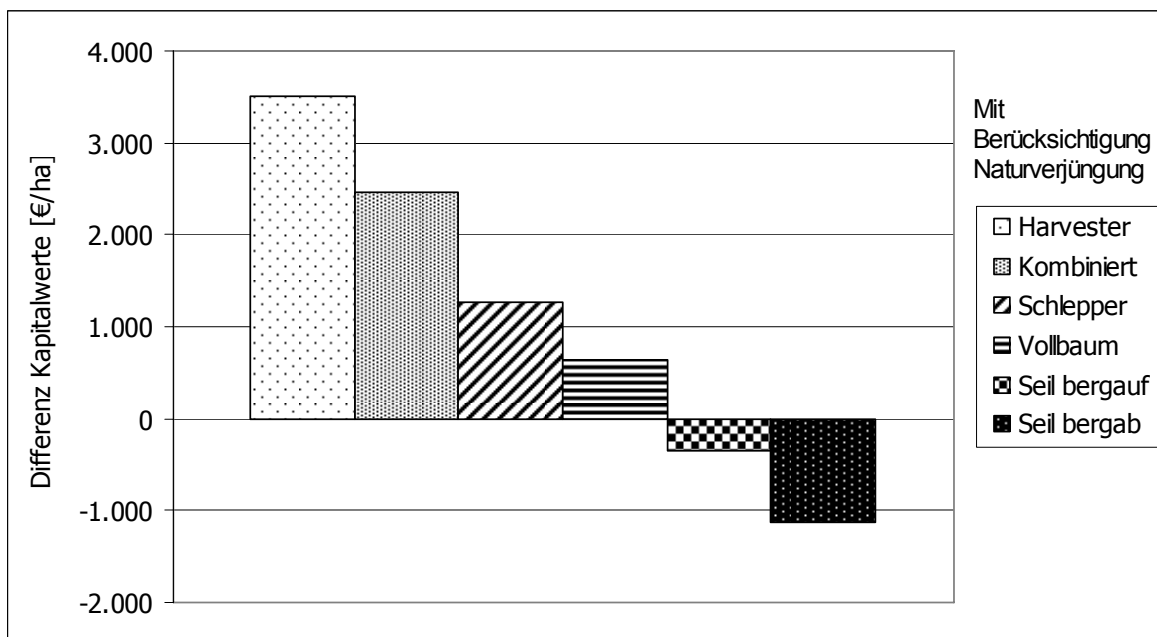


Abb. 5.30: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha]. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante). Einsparungen von Kulturkosten für den Folgeb Bestand in Höhe von 2700,- € berücksichtigt.

5.4.2.3 Berücksichtigung von Risiken

Der entscheidende Aspekt beim finanziellen Vergleich der Behandlungsvarianten ist das Risiko. Wird dieses in die Kalkulationen einbezogen, so stellt sich die Behandlung meist auch beim Einsatz teurer Seilverfahren vorteilhafter dar als die Variante ohne Behandlung. Und dies, obwohl bei den teuren Verfahren die ersten unterstellten Eingriffe im Alter 40 defizitär

ausfallen. Hierbei wird allerdings unterstellt, dass die in den Monte-Carlo-Simulationen anfallenden Schadmengen in jedem Fall aufgearbeitet werden und deshalb in den meisten Fällen für negative Deckungsbeiträge sorgen. Hier greift offenbar ein Effekt, den auch MOOG (2004) beschreibt: die Durchforstungseingriffe senken den dem Risiko ausgesetzten Vorrat. Holzmengen, die bereits im Rahmen von Durchforstungsmaßnahmen entnommen wurden, können nicht mehr in Form von niedriger bewertetem Sturmholz anfallen.

Unterstellt man, dass die Holzmengen aus Kalamitäten nicht aufgearbeitet werden und somit auch nicht für negative Deckungsbeiträge sorgen, würden die unbehandelten Varianten wesentlich besser abschneiden. Allerdings wurde solches Vorgehen als nicht realistisch angenommen. Gerade in Zeiten steigenden Drucks von Forstschädlingen auf die Wälder werden mehr und mehr auch einzelne Schadhölzer aufgearbeitet oder durch andere kostenintensive Forstschutzmaßnahmen behandelt. Das gilt in besonderem Maße für alpine Schutzwälder. So mussten beispielsweise 2007 nach dem Sturm „Kyrill“ an der Weißwand nahe Berchtesgaden über 20 000 fm Sturmholz unter hohem finanziellem Aufwand mit dem Helikopter ausgeflogen werden (THIEME 2007).

Ein weiterer interessanter Befund bei Einbeziehung des Risikos ist die Tatsache, dass es Ernteverfahren gibt, bei denen die Dominanz von behandelter respektive unbehandelter Variante entscheidend von der Risikoaversion des Entscheiders abhängt. Dies sind möglicherweise Situationen, wo man bei der Entscheidung für oder wider eine Behandlung zwischen Wirtschaftswald und Schutzwald unterscheiden wird, wie beispielsweise im „Betriebskonzept Hochgebirge“ der BAYERISCHEN STAATSFORSTEN (2005) vorgesehen. Im Schutzwald wird man die Maßnahmen motiviert durch eine höhere Risikoaversion durchführen, während man im Wirtschaftswald auf die Durchführung ggf. verzichtet.¹³¹

Ein zusätzlicher Aspekt, der dazu führen kann, dass auch investive waldbauliche Maßnahmen finanziell vorteilhaft sein können, ist die potenzielle Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Beständen durch solche Maßnahmen. Bis dato gibt es allerdings noch kaum Untersuchungen, die versucht haben, solche Effekte zu quantifizieren. Ein erster Ansatz dazu findet sich bei KNOKE und SEIFERT (2008).¹³² Sie berechneten Kapitalwerte für unterschiedliche Mischungen aus Fichte und Buche. Bei ihren Berechnungen berücksichtigten sie unter ande-

¹³¹ Die Risikoaversion in Schutzwäldern ist zunächst zwar keine finanzielle sondern eine naturale. Man möchte Kalamitäten in Schutzwäldern vermeiden, um die Schutzwirkung nicht zu gefährden. In vielen Fällen ist diese naturale Risikoaversion aber mit einer finanziellen gleichzusetzen, denn die Kalamitäten sorgen auch für finanzielle Einbußen.

¹³² KNOKE und SEIFERT (2008) stellten die Überlegungen für das Flachland an. Für das Gebirge sind Untersuchungen dieser Art bisher nicht bekannt.

rem auch den stabilisierenden Effekt der Buchenbeimischung auf die Fichte. Sie verwendeten dazu drei unterschiedliche Überlebenskurven: eine für Buche, eine für Fichte unter Reinbestandsverhältnissen und eine für Fichte, deren Überlebenswahrscheinlichkeit aufgrund der Buchenbeimischung höher eingeschätzt wurde.

In der vorliegenden Untersuchung konnten stabilisierende Effekte durch waldbauliche Eingriffe nicht einbezogen werden, da hierzu, wie im vorigen Abschnitt beschrieben, keine unterschiedlichen Überlebenskurven vorlagen. Es wurde aber umgekehrt für eine Jungbestandspflegemaßnahme errechnet, wie weit die Überlebenswahrscheinlichkeit durch diese Pflege steigen müsste, damit sich die Pflege amortisiert.

Die von KNOKE und SEIFERT (2008) verwendeten Überlebenskurven können in diesem Zusammenhang einen gewissen Anhaltspunkt geben, ob man die für die Amortisation der JP notwendigen Steigerungen in der Überlebenswahrscheinlichkeit realistischerweise erreichen kann. Dazu wurde, basierend auf deren Überlebenskurve für die Fichte unter Reinbestandsverhältnissen eine zusätzliche fiktive Kurve berechnet, bei der die Überlebenswahrscheinlichkeit überall um 1/3 der Ausfallwahrscheinlichkeit erhöht wurde (Abb. 5.31).

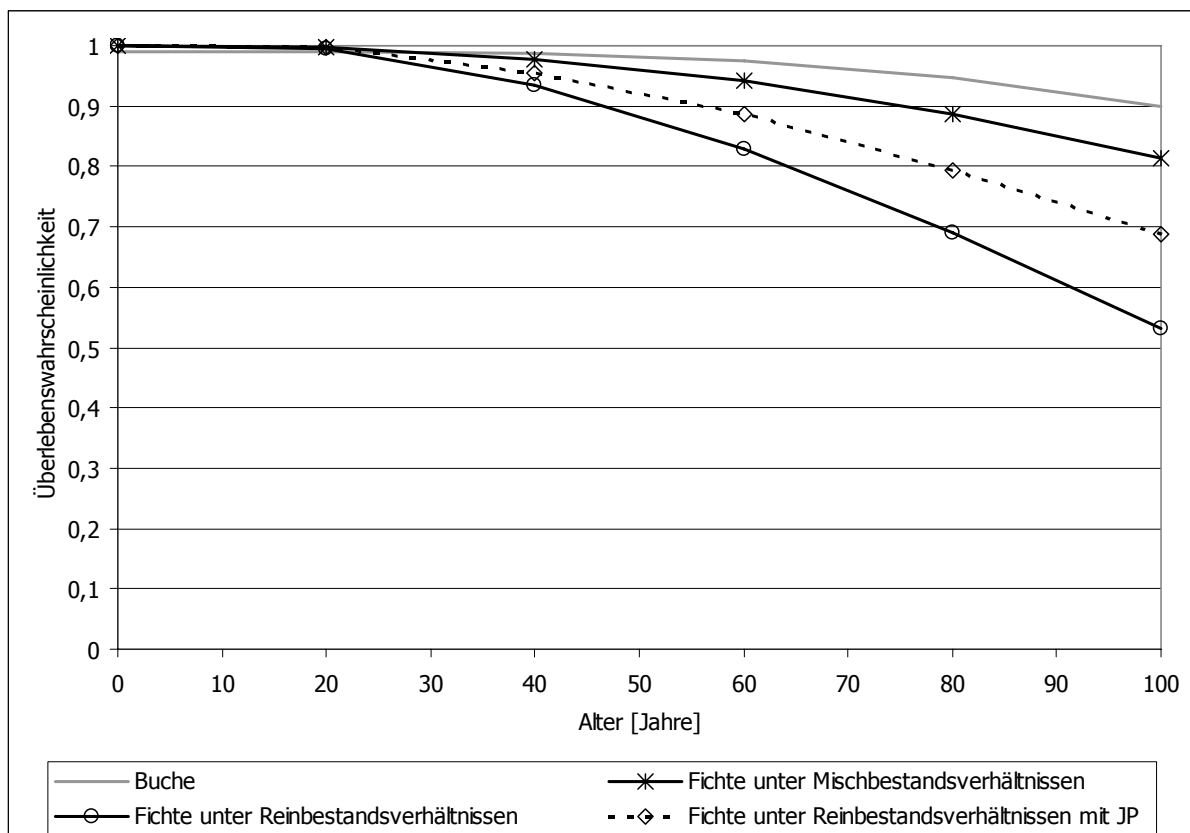


Abb. 5.31: Vergleich der Überlebenskurven nach KNOKE und SEIFERT (2008) mit einer fiktiven Überlebenskurve für Fichte mit JP (Ausfallwahrscheinlichkeit gegenüber der reinen Fichtenkurve um 1/3 reduziert).

Entlang dieser Punkte müsste die Überlebenskurve nach der Jungbestandspflege verlaufen, damit sich die Maßnahme rechnet. Eine Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit um 1/3 genügt laut den Ergebnissen aus Kap. 5.3.4.5.2. auch in den ungünstigen Fällen zur Amortisation der JP. (Es gab auch Varianten, bei denen Verringerungen der Ausfallwahrscheinlichkeiten um 1/4 oder 1/6 ausgereicht hätten.)

Die fiktive Überlebenskurve mit der um 1/3 reduzierten Ausfallwahrscheinlichkeit liegt relativ mittig zwischen der Reinbestands-Fichtenkurve von KNOKE und SEIFERT (2008) und der Kurve, bei der die Autoren eine Stabilisierung durch Buchenbeimischung unterstellt haben (Abb. 5.31).

Geht man gestützt durch die Ergebnisse von NIELSEN (1990, 1991, 1995) und MARSCH (1989a, 1989b) davon aus, dass die Verankerung von Fichten am wirksamsten durch JP-Maßnahmen gesteigert werden kann, dann erscheint die geforderte Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit im Vergleich mit den anderen Kurven nicht unerreichbar. Hinzu kommt, dass im Rahmen von solchen JP-Maßnahmen auch vorhandene Mischbaumarten gesichert werden können. Eine Maßnahme, die in dieselbe Richtung wirkt, wie die unterstellte Stabilisierung durch Buchenbeimischung bei KNOKE und SEIFERT (2008).

Aus den hier theoretisch angestellten Überlegungen kann nicht automatisch geschlossen werden, dass sich Jungbestandspflegen grundsätzlich aufgrund von verbesserten Überlebenswahrscheinlichkeiten amortisieren. Aber immerhin zeigt sich, dass dies im Bereich des Möglichen liegt. Hätte die Kurve mit den notwendigen Überlebensverbesserungen beispielsweise noch über der Buchenkurve gelegen, dann wäre eine solche Amortisation völlig abgeschlossen gewesen.

Auch KOHNLE und v. TEUFFEL (2005) kamen bei einer Untersuchung von JP-Maßnahmen in Fichtenbeständen im Flachland zu dem Ergebnis, dass diese Eingriffe finanziell vorteilhaft sind, bzw. dass ein Unterlassen von Jungbestandspflege zu erheblichen finanziellen Einbußen führe. Sie begründeten dies mit einer unzureichenden Durchmesserentwicklung der Hauptzuwachssträger in den ungepflegten Beständen und einer späteren erhöhten Schadanfälligkeit der ungepflegten Bestände. Zum einen wiesen die Fichten dieser Bestände hohe h/d-Verhältnisse auf, was auf schlechte Wurzelentwicklung schließen lasse, zum anderen seien die angestrebten Durchmesser aufgrund der geringeren Durchmesserentwicklung erst bei größeren Höhen erreichbar, weshalb die Bestände länger einer größeren Windwurfgefahr ausgesetzt seien.

6 Zusammenfassende Diskussion

Eine Reihe von Detailspekten und auch die in den einzelnen Abschnitten verwendeten Methoden wurden bereits am Ende der Kapitel 3, 4 und 5 diskutiert. Die abschließende Diskussion greift die eingangs formulierten Hypothesen wieder auf und gibt Antworten auf die aufgeworfenen Fragen. Daneben wird hier eine kritische Würdigung der gesamten Forschungsmethodik und eine Einordnung der Studie in den wissenschaftlichen Kontext vorgenommen. Zuletzt werden einige Empfehlungen zur Behandlung der reinen Fichtenbestände im Bergmischwaldbereich gegeben, basierend auf den Ergebnissen aller Teilbereiche (triangulatorische Betrachtung).

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die erste Hypothese bezog sich auf den Beitrag des Altbestandes zur Stabilität in den Beständen und lautete folgendermaßen:

H0: Behandelte und unbehandelte Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe unterscheiden sich hinsichtlich der Resistenz des Altbestandes nicht.

Diese Hypothese kann anhand der in Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse nicht eindeutig widerlegt werden. Es wurden zwar einige Behandlungseffekte bei den Weiser-Variablen für die Einzelbaumresistenz wie h/d-Verhältnis, $BHD^2 \cdot \text{Höhe}$, BHD^3 und Kronenlänge aufgedeckt, diese waren jedoch in einigen Fällen nicht sehr stark und z.T. auch nicht signifikant. Stärkere Effekte unter der Voraussetzung früherer und regelmäßigerer Behandlungen können zwar vermutet, aber anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht nachgewiesen werden.

Wesentlich klarere Effekte ergaben sich hinsichtlich der Vitalität der Fichten. In den behandelten Beständen waren die Anteile der sehr vitalen Fichten deutlich höher als in den unbehandelten. Bei den mäßig vitalen Fichten ergab sich das umgekehrte Bild. Diese Wirkung der Eingriffe könnte einen wichtigen Einfluss auf die Resistenz der Bestände haben. So konnte SCHMID-HAAS (1991, 1994, 2002) signifikante Zusammenhänge zwischen Wurzelfäule, Kronenverlichtungen und späteren Windwurfschäden nachweisen. Auch im Hinblick auf Klimaänderungen verbunden mit steigendem Druck von Forstschädlingen (IMMLER und BLASCHKE 2007, ENGESSER et al. 2008) kann die erhöhte Vitalität eine steigende Bedeutung erlangen. So ist es doch die Fichte, die in Trockenjahren besonders anfällig reagiert und durch Schädlinge gefährdet wird (HÖLLERL 2004).

Erwartungsgemäß wurde durch die gezielte Entnahme von geschälten Bäumen im Rahmen der Eingriffe der Anteil dieser potenziell instabilen Bäume gesenkt.

Behandlungsbedingte Verbesserungen der Bestandesstruktur, ausgedrückt durch erhöhte T-Werte (Durchmesser differenzierung), Profilindizes (vertikale Struktur)¹³³ bzw. durch verringerte Aggregationsindizes (horizontale Struktur) konnten nicht generell nachgewiesen werden. Ein Ergebnis, das sich im Wesentlichen mit den Erkenntnissen von BACHOFEN und ZINGG (2000, 2001, 2005) deckt. Möglicherweise kann man durch frühzeitige Eingriffe erste Ansatzpunkte für eine Strukturierung schaffen,¹³⁴ entscheidende Weichenstellungen können aber wohl nur über die Folgegeneration erfolgen. Allerdings belegen die Ergebnisse, dass die Bestände prinzipiell nicht so schlecht strukturiert sind, wie oft angenommen wird. Sowohl die Werte für die Durchmesser differenzierung als auch die Profilindizes zur Beurteilung der vertikalen Struktur liegen in für Fichtenbestände sehr günstigen Bereichen. Insofern bewahrheitete sich die Einschätzung einiger Experten in den Interviews, die der Meinung waren, die Bestände seien besser strukturiert als vergleichbare Flachlandbestände.

Die Tatsache, dass die erste Hypothese nicht zweifelsfrei widerlegt werden kann, bedeutet nicht, dass die Eingriffe keinerlei Effekte auf den Altbestand haben. Es wird damit lediglich offenkundig, dass die Effekte der bisher durchgeführten Maßnahmen limitiert sind und es demzufolge offen ist, ob sich daraus eine manifeste Erhöhung der Resistenz ergibt. Ob sich die Effekte durch frühe JP-Maßnahmen und regelmäßige Eingriffe so weit verstärken ließen, dass die Hypothese zu widerlegen ist, kann zwar anhand der Literaturobwertung vermutet werden (MARSCH 1989a, 1989b, CREMER et al. 1982, NIELSEN 1990, 1991, 1995, KENK und WEISE 1998). Letztlich verbleibt hier aber noch Forschungsbedarf, der nur durch Langzeitversuche gedeckt werden könnte.

Deutlichere Behandlungseffekte ließen sich im Bereich der Vorausverjüngung als entscheidendem Weiser für die Elastizität nachweisen. Deshalb kann die zweite Hypothese

H0: Behandelte und unbehandelte Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Vorausverjüngung (als Maß für die Elastizität) nicht.

auch definitiv widerlegt werden.

Ein sehr geringer Anteil an Mischbaumarten im Altbestand konnte für einen hohen Anteil an Mischbaumarten in der Verjüngung sorgen. Dabei wiesen die behandelten Bestände nicht

¹³³ T-Werte nach FÜLDNER (1995) sowie eigener Profilindex, beschrieben in Kap. 4.2.2.3.

¹³⁴ So wurde während der Expertenbefragung beispielsweise von einem Revierförster die Strategie beschrieben, über das gesamte Bestandesleben kontinuierlich alle Mischbaumarten zu fördern. Dies ist sicher eine Maßnahme, die der Strukturverbesserung innerhalb der Umtriebszeit dient. Effekte solcher Maßnahmen zur Erhöhung des Mischungsanteils konnten aber in dieser Untersuchung nicht dokumentiert werden, da für die Erhebungen gezielt Fichtenreinbestände ausgewählt wurden.

nur generell höhere Zahlen an Verjüngungspflanzen auf. Die Eingriffe waren auch Grundvoraussetzung dafür, dass sich die Verjüngung deutlich über das Sämlingsstadium hinaus entwickeln konnte. Werden keine verbesserten Lichtverhältnisse durch Bestandesöffnungen geschaffen, bleibt es offensichtlich bei einem Zyklus des Werdens und Vergehens von kleinen Pflänzchen, wie er bereits bei HOHENADL (1981), MOSANDL (1991), BURSCHEL et al. (1992) und SZWAGRZYK et al. (2001) beschrieben wurde.

Allerdings wiesen auch die behandelten Bestände mit mittleren Werten von 1000-1200 Pflanzen/ha nur bescheidene Dichten an größeren Verjüngungspflanzen ab 20 cm Höhe auf. Deshalb ergaben sich bei der Beurteilung der Verjüngungsdichte anhand der Verjüngungssollzahlen von FREHNER et al. (2005) mittels der im Forstbereich neuen Methoden „Info-Gap-Analyse“ (BEN-HAIM 2006, KNOKE 2008) und „Sharpe-Ratio“ (SHARPE 1964, 1966, 1994) auch nahezu keine Robustheiten gegenüber künftigen unsicheren Einflüssen. Solche unvorhergesehenen negativen Einflüsse können beispielsweise Schädigungen durch Schalenwild sein. Angesichts der mangelnden Robustheit der Verjüngungsdichte müssen solche Schädigungen unbedingt vermieden werden.

Die dritte Hypothese bezog sich auf die finanziellen Auswirkungen der waldbaulichen Eingriffe und lautete folgendermaßen:

H0: Vornutzungseingriffe in Fichtenreinbestände der Bergmischwaldzone sind finanziell nicht vorteilhaft.

Den Kalkulationen wurden unterschiedlich teure Holzernteverfahren zu Grunde gelegt, die eine differenzierte Betrachtung erfordern. Im Allgemeinen konnte die Hypothese aber klar widerlegt werden.

Bei Anwendung der Ernteverfahren „Harvester“, „Kombiniert“ und „Schlepper“ sind waldbauliche Behandlungen generell als finanziell vorteilhaft einzustufen.

Der Vorteil von Vornutzungen steigt, wenn man die Zahlungsströme abzinst, wenn man berücksichtigt, dass in den behandelten Beständen z.T. kostenlose Naturverjüngung entsteht und wenn man Ausfallrisiken der Bestände berücksichtigt. Die Abzinsung sorgt dafür, dass frühe Einzahlungen höher bewertet werden als spätere. Dadurch steigt die Attraktivität früher Eingriffe und die waldbauliche Flexibilität wird erhöht. Dass die Berücksichtigung von Zinsen nicht zwangsläufig mit einer Rückkehr zur Bodenreinertragslehre verbunden ist, sondern durchaus positive waldbauliche Aspekte mit sich bringt, beschreibt REININGER schon 1982 (S.99):

„Die Bodenreinertragslehre hat Verwirrungen ungeahnten Ausmaßes hinterlassen, deren Nachwirkungen bis zum heutigen Tage nicht behoben sind. Mit der fehlgeschlagenen Zinseszinsoptimierung wur-

de auch die an sich richtige Grundlage des Zuwachsprozentes hinweggefegt. [...] In der Folge stagnierte die waldbauliche Entwicklung und wurde für diesen Zeitraum von mehr als 100 Jahren einseitig auf den Schlagwald fixiert. Eine diesbezügliche Berichtigung durch die Wiedereinsetzung des Zuwachsprozentes [...], wird den Brückenschlag vom Altersklassenwald zur Einzelstammwirtschaft ermöglichen.“

Kostenlose Naturverjüngung in den behandelten Beständen führt zwar dazu, dass der finanzielle Vorteil waldbaulicher Maßnahmen steigt, allerdings sind die Auswirkungen bescheiden, da gerade dieser geldwerte Vorteil über einen relativ langen Zeitraum abgezinst wird. In Kap. 5.4.2.2 wurde die mögliche Größenordnung des Vorteils abgeschätzt.

Die Berücksichtigung der Ausfallrisiken hat zweierlei Effekte: zum einen werden im Rahmen von Durchforstungen Holzmengen regulär entnommen, die dann nicht mehr in Form von Schadholz anfallen können. Zum anderen ist die Streuung der erzielbaren Kapitalwerte bei den meisten Behandlungsvarianten nicht so hoch wie bei den unbehandelten Varianten. Erhöhte Streuung bedeutet eine größere Wahrscheinlichkeit für hohe Verluste: ein Effekt, den risikoaverse Entscheider in der Regel meiden (SPREMANN 1996).

Bezieht man sowohl die Knappheit von Finanzmitteln als auch Risiken in die Kalkulationen ein, so schneiden die Szenarien mit Behandlung in fast allen Fällen besser ab als die Szenarien ohne Behandlung, selbst bei Anwendung teurer Seilverfahren. Erhöhte Überlebenswahrscheinlichkeiten der Bestände aufgrund stabilisierender Effekte wurden dabei noch gar nicht berücksichtigt.

Die abschließend formulierte Forschungsfrage zielte auf einen möglichen finanziellen Vorteil von Jungbestandspflegemaßnahmen ab.

Um wie weit müsste die Überlebenswahrscheinlichkeit eines reinen Fichtenbestandes durch eine Jungbestandspflege erhöht werden, damit der Stabilitätsgewinn die hierzu notwendigen frühen Auszahlungen aufwiegt?

Laut den Berechnungen aus Kapitel 5.3.4.5.2. genügen Verringerungen der Ausfallwahrscheinlichkeiten zwischen $1/6$ und $1/3$, damit sich eine Jungbestandspflege amortisiert. Hieraus ergibt sich allerdings gleich weiterer Forschungsbedarf. Es stellt sich nämlich die Frage, ob solche Reduktionen der Ausfallwahrscheinlichkeiten durch JP-Maßnahmen überhaupt erreicht werden können. Es war klar, dass diese Frage in der vorliegenden Arbeit nicht zweifelsfrei geklärt werden konnte. Aber immerhin deuten die in Kapitel 5.4.2.3. vorgenommenen überschlägigen Schätzungen darauf hin, dass die benötigten Reduktionen durchaus im Bereich des Möglichen liegen.

6.2 Würdigung der Forschungsmethodik und Einordnung der Studie in den wissenschaftlichen Kontext

Die vorliegende Studie ist breit und synoptisch angelegt. Es wurden mit den Experteninterviews, der retrospektiven naturalen Untersuchung und den finanziellen Kalkulationen qualitative und quantitative Methoden im Sinne der Triangulation¹³⁵ miteinander verknüpft. Die Methode der Triangulation ist im naturwissenschaftlichen Bereich bis dato wenig verbreitet und eher im Bereich der Psychologie oder der empirischen Sozialforschung beheimatet. Sie bietet aber eine gute Möglichkeit, sich einem Untersuchungsobjekt wie hier der „Bewirtschaftung von Fichtenreinbeständen der Bergmischwaldstufe“ aus verschiedenen Blickwinkeln zu nähern. Wie bei einem Triangel erst die Verbindung der drei Seitenstäbe den Klang des Instrumentes ausmacht, so kann auch die Qualität der Forschung durch die Verbindung mehrerer Methoden verbessert werden (MAYRING 2002). In der Literatur gibt es einen Diskurs, ob die Triangulation eher der Validierung von Ergebnissen dient, oder der Erfassung unterschiedlicher Aspekte desselben Forschungsgegenstandes (KELLE und ERZBERGER 1999). Im vorliegenden Fall trifft wohl beides ein Stück weit zu. Einerseits wurden bestimmte Erkenntnisse aus den Experteninterviews in der retrospektiven Untersuchung überprüft und verifiziert. Insofern erfolgte eine Validierung der Ergebnisse. Andererseits ergaben sich aus der Expertenbefragung sowie der naturalen und der finanziellen Betrachtung zum Teil konträre Ergebnisse (siehe beispielsweise im Folgenden die Überlegungen hinsichtlich des geeigneten Eingriffszeitpunktes), was nicht bedeutet, dass eines der Ergebnisse falsch ist. Es bedeutet vielmehr, dass hier eine Abwägung getroffen werden muss. Laut KELLE und ERZBERGER (1999, S. 515) ist dies im Rahmen der Triangulation ein natürliches Phänomen: „Wenn dahingegen verschiedene Methoden verschiedene Aspekte desselben Gegenstandes oder auch unterschiedliche Gegenstände erfassen, so sind unterschiedliche Ergebnisse natürlich zu erwarten, ohne dass dies den Schluss auf die fehlende Validität dieser Ergebnisse erlaubt.“. Letztlich können die Ergebnisse aus den verschiedenen Perspektiven zu einem kaleidoskopartigen Bild des Ganzen zusammengesetzt werden (KÖCKEIS-STANGL 1980).

Der Ansatz über die Experteninterviews stellt eine elegante Methode im Umgang mit einem im Waldbau vorliegendem Dilemma dar. So wird der Waldbau immer wieder als eine Disziplin kritisiert, bei der Erfahrungen und Meinungen von Praktikern zu Lasten von streng wissenschaftlichen Fakten eine zu große Rolle spielen. Waldbau wird deshalb gelegentlich als „Kunstlehre“ oder „kasuistische Praxislehre“ bezeichnet (SCHANZ et al. 1999) und zu Recht

¹³⁵ Zur Beschreibung der Methode siehe Kapitel 2.5.

wird eine eigene Methodik und eine solide theoretische Basis für den Waldbau gefordert (BAUER 1962, WAGNER 2000, KNOKE in Vorbereitung). Andererseits ist die Waldbauwissenschaft eine teleologische Wissenschaft,¹³⁶ die immer auf ein bestimmtes Ziel ausgerichtet ist (BAUER 1962). Und oft enthalten die genannten Erfahrungen der Praktiker richtige und wichtige Ansätze zur Annäherung an ein bestimmtes Ziel, weshalb es vermessen wäre, diese nicht zu berücksichtigen. Allerdings haben die Erfahrungsurteile zunächst nur subjektive Gültigkeit und müssen verallgemeinert werden (BAUER 1962). Eine Möglichkeit zur Verallgemeinerung besteht in der Bildung von Hypothesen aus diesen Erfahrungen und der Testung derselben (KNOKE, in Vorbereitung). Mit einigen Aussagen der Experten wurde im Rahmen der Triangulation genau so verfahren. Wichtige Hinweise aus den Interviews wurden in der anschließenden Feldstudie verifiziert und ergänzt. Andere Erfahrungsurteile ließen sich jedoch aufgrund der enorm hohen Zahl von Einflussfaktoren im Bergwald nicht problemlos wissenschaftlich absichern. Hierzu wären weitere aufwändige Studien zur Verifizierung nötig gewesen. Bei übereinstimmenden Aussagen konnten die Erfahrungen aufgrund der größeren Zahl an Interviews dennoch bedingt verallgemeinert werden und in die Gesamtschau bei der Entscheidungsfindung einbezogen werden.

Durch den dreistufigen Ansatz wird die vorliegende Studie insbesondere einer Interdisziplinarität gerecht, die vom Waldbau immer gefordert wird. So wird der Waldbau von je her als eine Disziplin angesehen, welche auf die Unterstützung von Entscheidungen bei der Waldbehandlung ausgerichtet ist und dabei verschiedene Aspekte integriert. LIEBOLD (1967, S. 265) schreibt beispielsweise:

„Gegenstand der Waldbauwissenschaft ist die waldbauliche Tätigkeit, die darauf gerichtet ist, den Wald planmäßig so an- und aufzubauen, dass die volkswirtschaftlichen Bedürfnisse an seinen Erzeugnissen nachhaltig in möglichst vollkommener Weise und unter der Berücksichtigung der Relation Aufwand zu Ertrag aus ihm gedeckt werden können.

Die methodische Bearbeitung jedes waldbautechnischen Problems muss deshalb von den methodischen Grundeinheiten Biologie, Ökologie und Ökonomie incl. Technik ausgehen, soll der Waldbau nicht um seiner selbst Willen betrieben werden.“

Auch KÖSTLER (1955, S. 3) versteht den Waldbau als „biologisch gebundene Technik, durch die Handlungen so geordnet werden, dass bestimmte Ziele, im Rahmen des Forstwesens zumeist Wirtschaftsziele, erreicht werden“ und zitiert REBEL (1930), der festgestellt hat: „Waldbau für sich allein gibt es nicht, darf es nicht geben; er muss immer geschlossen sein in Ökonomie und Technik des Ganzen.“ Andererseits hält KÖSTLER (1955, S. 401) den Wald-

¹³⁶ Telos (griech.) = das Ziel

bau auch für Landschaftspflege: „Für Baum und Wald gilt: das Gesunde liefert auf die Dauer die besten Nutzerträge, das Natürliche ist auch das Schönste.“

THOMASIIUS (1990) sieht die forstpolitischen, ökonomischen, ökologischen und technologischen Grundlagen sowie die Verfahrenslehre als Pfeiler, auf die sich der Waldbau gründet. MOSANDL und FELBERMEIER (2001) fordern für die waldökosystemare Forschung eine Integration von Ökologie, Sozio-Ökonomie und Technologie sowie eine Anbindung an die forstliche Praxis.

Auch bei der Gebirgswaldbewirtschaftung wird eine Berücksichtigung von verschiedenen Ansprüchen postuliert (BEBI et al. 2004, 2005, BRANG et al. 2006, BRANG und HALLENBARTER 2007, WEHRLI et al. 2007). „Schutzwaldmanagement ist interdisziplinär: So treffen biologische, forstliche, ingenieurtechnische und ökonomische Herausforderungen aufeinander.“ (WEHRLI et al 2007, S. 153)

Gerade die Kombination aus natürlicher und finanzieller Untersuchung ist in der heutigen Zeit von großer Wichtigkeit. MOSANDL (1997) bezeichnet den Waldbau als ein Fachgebiet, das sich von seinem Selbstverständnis her immer zwischen Ökonomie und Ökologie befindet. Ähnlich beschreibt dies BAKER (1950, S. 3):

„A knowledge of the nature of forests and forest trees, how they grow, reproduce and respond to changes in their environment, makes up the broad field of forestry called *silvics*. This is practically equivalent to the *forest ecology* of some writers. The methods of handling the forest in view of its silvics – modified in practice by economic factors – is silviculture.“

Im Bezug auf den Waldumbau spielt der Themenkomplex Ökologie-Ökonomie eine besondere Rolle (KLIMO et al. 2000, BUONGIORNO 2001, SPIECKER et al. 2004, HANSEN 2004, TEUFFEL et al. 2005, FRITZ 2006, KNOKE et al. 2008). Und auch oder gerade im Schutzwald sind ökonomische Kenntnisse gefordert:

Die Herausforderung besteht hier darin, dass der Nutzen von Eingriffen – die Minimierung von Naturgefahrenrisiken auf ein annehmbares Niveau – sich nicht ohne weiteres monetär ausdrücken lässt. [...] In den letzten zehn Jahren hat die Forschung zwar die Kenntnisse ökologischer und technischer Aspekte des Schutzwaldmanagements erheblich erweitert [...]. Es mangelt aber immer noch an ökonomischen und integralen Ansätzen (BRANG und HALLENBARTER 2007, S. 176).

Genau dieser Mangel an ökonomischen und integralen Ansätzen wird aber oft als Problem der Waldbauwissenschaft gesehen. In vielen Fällen wurde die Interdisziplinarität des Waldbaus in der Vergangenheit nicht mehr mit Leben erfüllt und die Forschung wurde einseitig auf die Ökologie ausgerichtet. BAUER (1962) und KNOKE (in Vorbereitung) sehen darin die Ursache für eine schwindende wissenschaftliche Bedeutung des Waldbaus unter vielen anderen ökologischen Disziplinen und die Ursache für eine abnehmende Praxisrelevanz.

In der Praxis wurden die Aspekte Ökologie und Ökonomie dagegen z.T. sehr erfolgreich kombiniert. Die Dauerwaldbewegung und die naturgemäße Waldwirtschaft sind nicht vorrangig aus ökologischen Gründen entstanden als vielmehr aus der Motivation heraus, wirtschaftlich zu arbeiten. Man arbeitet mit Naturverjüngung, um Kulturkosten zu sparen und schafft Reserven, um die Liquidität zu erhöhen. Pflgende Eingriffe sorgen für frühe Einnahmen. Dies führt zu einem Dauerwald. Angesichts der unbestrittenen ökologischen wie ökonomischen Erfolge dieser Art der Waldwirtschaft ist MOSANDL (2000) der Meinung, der Waldbau sei in Zukunft gut beraten, wieder die Anbindung an die Ökonomie zu suchen.

In weiten Bereichen der waldbaulichen Forschung läßt diese Anbindung aber nach wie vor zu wünschen übrig. Nur wenige Studien in der jüngeren Vergangenheit berücksichtigen die unterschiedliche Ansprüche ökonomischer, ökologischer und sozialer Art an den Wald (KNOKE und MOSANDL 2004, FELBERMEIER und MOSANDL 2004, KNOKE und HAHN 2007, KNOKE und SEIFERT 2008, KNOKE et al. 2008).

Die vorliegende Arbeit weist in ihrer Dreistufigkeit einen über die bisherigen Studien hinausreichenden Ansatz zur Kombination von Ökologie und Ökonomie bei der Entscheidungsunterstützung auf, wie er in einer waldbaulichen Studie bisher noch nicht angewandt wurde. Aufgrund des interdisziplinären Anspruchs im Waldbau könnte dieser Ansatz jedoch für viele andere waldbauliche Fragestellungen beispielgebend sein.

Dabei bedingt die Berücksichtigung ökonomischer Gegebenheiten keineswegs eine Beschränkung im ökologischen Bereich, wie häufig befürchtet wird. Im Forstbereich herrscht oftmals die Meinung vor, dass Rentabilitätsüberlegungen dem Wesen der nachhaltigen Waldbewirtschaftung widersprechen und eine an der Rentabilität ausgerichtete Bewirtschaftung zwangsläufig zur Waldverwüstung führen muss (MÖHRING 2001a, 2001b, KNOKE, in Vorbereitung¹³⁷). Dies gilt jedoch nur, wenn keine umfassenden, sondern lediglich einseitige und unvollständige finanzielle Überlegungen angestellt werden. Umfassende finanzielle Berechnungen, welche auch naturale Effekte von Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. stabilisierende Effekte) und Risiken berücksichtigen, können dagegen einseitige ausgabenminimierende Kalkulationen widerlegen, wie sie derzeit gerne durchgeführt werden.

Wie MOSANDL (1997) konstatiert, ist heute in Kreisen der Forstwirtschaft die reduktionistische Sichtweise weit verbreitet und es gilt vielfach die Parole „Sparen – koste es was es wolle“ Dies sei allerdings nicht neu. Schon Heinrich Cotta habe sich Anfang des vorletzten Jahrhunderts über seine wenig weitsichtigen Zeitgenossen mit folgenden Worten beklagt:

¹³⁷ Die angegebenen Autoren sind nicht dieser Meinung, sondern kritisieren diese.

„Wer bei einem Verwaltungszweige angestellt wird, will gerne glänzen und in unseren geldarmen Zeiten vorzüglich als guter Finanzierer erscheinen... Aber wie groß der Nachteil ist, welchen diese ersparten Taler durch vernachlässigte Forstwirtschaft zur Folge haben, fällt nicht so in die Augen, wenn auch derselbe den Vorteil vielmal überwiegt. Dieser lässt sich auf dem Papier sogleich nachweisen; jener hingegen wird erst späterhin im Wald sichtbar“ (zit. n. RICHTER 1950, S. 200¹³⁸).

Die effektivste Methode, diesem Trend heute entgegenzutreten, ist es, eben den Nachteil bestimmter Maßnahmen oder Unterlassungen auch „auf dem Papier nachzuweisen“, um in der Diktion von Cotta zu bleiben. Solches gelang beispielsweise in den Forschungen von MOOG (2004), KNOKE (2004b), KNOKE et al. (2005), KNOKE und WURM (2006), KNOKE und HAHN (2007), KNOKE und SEIFERT (2008) sowie KNOKE et al. (2008), wo man aufgrund der Berücksichtigung von Diversifikationseffekten und Risiken zu dem Ergebnis kam, dass Mischbestände nicht nur ökologisch sondern auch ökonomisch gegenüber Reinbeständen von Vorteil sind. Die vorliegende Untersuchung folgt einem ähnlichen Prinzip, wenn sich vordergründig defizitäre Eingriffe aufgrund der Berücksichtigung von Risiken als finanziell vorteilhaft entpuppen. Letztlich könnte diese Tendenz noch deutlich stärker ausfallen, wenn es gelänge, stabilisierende Effekte von waldbaulichen Maßnahmen genau zu quantifizieren und in die Kalkulationen einzubeziehen.

So können fundierte finanzielle Untersuchungen, welche auch die Erkenntnisse natürlicher Studien berücksichtigen, zu ganz anderen Erkenntnissen kommen, als einseitige Kalkulationen, welche nur die Ausgabenseite betrachten.

Dies stellt vermutlich eine der wenigen Möglichkeiten dar, einen Trend aufzuhalten, den MOSANDL (1997, S. 116) folgendermaßen beschreibt:

„Im Unterschied zu Cottas Zeiten sind wir heute noch etwas forscher. Wir sind zumindest teilweise bereit, unter dem ökonomischen Sparzwang auch die forstlichen Ziele und damit die forstliche Ethik über Bord zu werfen. Dies wird fatale Folgen für die Forstwirtschaft und letztlich auch für die Gesellschaft haben.“

Gerade in einer Zeit, in der die Begrenztheit der Ressourcen immer deutlicher wird, in der ungehemmtes Wachstum und Umweltverbrauch fragwürdig werden, fängt der einzige Bereich der Wirtschaft, der über ein zukunftsfähiges Modell des sparsamen Energieeinsatzes und der geschlossenen Stoffflüsse verfügt, nämlich die Forstwirtschaft, an, ihr Weltmodell zu demontieren und der übrigen Wirtschaft nachzueifern.“

Wenn es gelingt, aufgrund synoptischer Studien natürlicher und finanzieller Art, beispielsweise durch Berücksichtigung von Risiken, dem von MOSANDL (1997) beschriebenen Trend entgegenzuwirken und vorausschauendere Entscheidungen in der Waldbewirtschaftung zu treffen, kommen wir dem forstlichen Ideal der Nachhaltigkeit näher. Ein wichtiger Schritt, der aller-

¹³⁸ Originalquelle im Landeshauptarchiv Dresden, Rep. LII, Gen. 589b: Cotta, H.: „Darstellung der hauptsächlichsten Ergebnisse der mit allerhöchster Erlaubnis von dem Unterzeichneten im Herbst 1825 unternommenen Forstreise in das Ausland.“

dings nicht ganz einfach zu gehen ist, wie MESSIER und KNEESHAW (1999, S. 931) meinen: „The integration of social, economic and ecological issues into decision-making systems is thus a crucial step towards sustainability. It is difficult, however, as there is little to no tradition of such integration.“

Im Kanon der forstökonomischen Arbeiten steht die vorliegende Studie am Ende eines langen Diskurses über die Verzinsung im Forstbereich. MÖHRING (2001a, 2001b) hat die Entwicklungen der Forstökonomie in Deutschland folgendermaßen beschrieben. Im 19.Jhd. wurde unter anderem von PFEIL (1822), HUNDESHAGEN (1828), FAUSTMANN (1849) und KÖNIG (1864) die Bodenreinertragslehre begründet. Diese beinhaltete im Wesentlichen die Verzinsung des investierten Kapitals und war darauf ausgelegt, einen möglichst hohen Bodenreinertrag zu erzielen. Erreicht wurde dies durch die optimale Baumart (i. d. R. Fichte), die beste Behandlung und die optimale Umtriebszeit. Nachdem die daraus resultierenden reduzierten Bestandesdichten und verkürzten Umtriebszeiten im Konflikt mit den Prinzipien des nachhaltigen Ertrages standen, wurde die Bodenreinertragslehre schließlich vehement abgelehnt. Stattdessen wurde die Waldreinertragslehre propagiert, welche keine Verzinsung berücksichtigt. Aus Sicht der Ökonomie ist dies jedoch als unbefriedigend anzusehen, da dies bedeuten würde, dass es in der Forstwirtschaft keinerlei Knappheit von Finanzmitteln gibt. Heutzutage wird die Lösung dieses Problems darin gesehen, dass man das eingesetzte Kapital zwar verzinst, aber in die Kalkulationen verschiedene Restriktionen integriert, welche beispielsweise ein nachhaltiges Wirtschaften gewährleisten (MÖHRING 2001a, 2001b). Oftmals werden auch bestimmte Risiken in den Kalkulationen berücksichtigt (KNOKE und WURM 2006, KNOKE und HAHN 2007, KNOKE und SEIFERT 2008). In den Studien der Forstökonomie treten dabei jedoch verschiedene Probleme auf. So sind die Eingangswerte für die Kalkulationen oft aus anderen Studien übernommen oder gehen auf Modellierungen zurück. Dies kann dazu führen, dass die ökonomischen Berechnungen aufgrund zu einfacher biologischer Modelle unrealistische oder für ökologisch orientierte Forscher und Praktiker nicht akzeptable Ergebnisse hervorbringen. KNOKE (in Vorbereitung) fordert deshalb biologisch realistischere Ansätze in ökonomischen Studien und eine verbesserte theoretische und praktische Basis zur Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in der ökonomischen Optimierung.

Die vorliegende Studie stellt insofern eine Besonderheit dar, als die Eingangswerte für die finanziellen Kalkulationen sämtlich aus der eigens angefertigten Feldstudie stammen. Dies verschafft ihr eine hohe Glaubwürdigkeit im ökologischen Bereich und ein festes Fundament im ökonomischen Bereich. Die hier praktizierte Vorgehensweise könnte im ökonomischen Bereich Modellcharakter bekommen.

6.3 Empfehlungen zur Behandlung von reinen Fichtenbeständen im Bergmischwaldbereich – Eine Triangulatorische Betrachtung

Im Folgenden werden einige praktische Fragen zur Behandlung reiner Fichtenbestände im Bergmischwaldbereich aufgeworfen und in einer Zusammenschau aus den verschiedenen Ergebnissen dieser Studie beantwortet. Erkenntnisse aus den Literaturanalysen fließen dabei mit ein. Der eilige Leser findet am Ende jeden Abschnittes eine knappe Schlussfolgerung.

Planmäßige Eingriffe: Ja oder Nein?

Hin und wieder wird entweder aus Naturschutz- oder aus Kostengründen eine generelle Einstellung der Bewirtschaftung von Bergwäldern gefordert. Die Expertenbefragung machte deutlich, dass die Forstpraktiker dies in den reinen Fichtenbeständen generell nicht befürworten. Es herrscht das Bestreben vor, waldbaulich tätig zu werden, um großflächige katastrophale Zusammenbrüche in Beständen mit fehlender Vorausverjüngung zu vermeiden. Die Ergebnisse der Feldstudie dokumentieren eindeutig die Richtigkeit dieses Ansatzes. Ohne waldbauliche Eingriffe kann sich in absehbaren Zeiträumen kein Verjüngungsvorrat bilden, der im Fall von flächigeren Ausfällen für eine zügige Folgebestockung sorgt. Letztlich läuft man Gefahr, teure Schutzwaldsanierungsflächen zu erzeugen. Diese Befürchtung wurde auch während der Interviews genannt (*„Wenn die Bestände nicht verjüngt sind, bevor der Altbestand ausfällt, ist eine Wiederbestockung mit standortsgerechten Baumarten schwierig.“*)

Eine Untersuchung von BAUER et al. (2008) stützt diese Bedenken. Dort wurden Hochlagenwälder im Bayerischen Wald nach großflächigen Borkenkäferkalamitäten untersucht. Es handelte sich zwar um Fichtenwaldstandorte, aber die generellen Entwicklungen lassen sich mit Sicherheit auf die Bergmischwaldstandorte übertragen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sich nach solch plötzlichen Ausfällen des Altbestandes zwar Verjüngung einstellt, welche den Fortbestand des Waldes gewährleistet. Aber es ergeben sich sehr unterschiedliche Verjüngungsdichten und damit z. T. sehr lückige Folgebestände. In Schutzwaldlagen ist solch ein lückiger Bestandaufbau jedoch nicht akzeptabel.

Auch eine vergleichende Untersuchung von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Schutzwäldern (AMMER et al. 2000, SEITZ und AMMER 2000, SEITZ 2001) kam zu dem Schluss, dass bewirtschaftete Wälder im Hinblick auf die Erfüllung von Schutzfunktionen zu bevorzugen sind. 51% der bewirtschafteten Bestände boten eine befriedigende Schutzwirkung, während es bei den unbewirtschafteten Beständen nur 13% waren.

Eingriffe in Wäldern der Bergmischwaldstufe zu unterlassen, bedeutet, vor allem im Hinblick auf Verjüngung, keine Strukturverbesserungen zu erzielen. Es bedeutet z.T. auch, Strukturen

zu verlieren. MOSANDL (1991) dokumentierte beispielsweise im Rahmen des Bergmischwaldversuches am Lehrstuhl für Waldbau, dass vor allem die für die Struktur wichtigen unter- und zwischenständigen Tannen verloren gingen, wenn jegliche Eingriffe unterlassen wurden. BRANG et al. (2004, S. 60) schreiben aus denselben Gründen auch „Wer Gebirgspflenterwälder will, muss ja sagen zu waldbaulichen Eingriffen.“

Wenn also in der „Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT 2007) unter anderem Teile der Hochgebirge als Gebiete vorgeschlagen werden, die der natürlichen Entwicklung überlassen werden sollen, so kann dies für die untersuchten Fichtenreinbestände gerade in Schutzwaldlagen als nicht zielführend angesehen werden.

Vielmehr können auch aus Sicht des Naturschutzes Eingriffe in Fichtenreinbestände, die einer gemischten Folgebestockung dienen, nur positiv gesehen werden. Stellen die Reinbestände doch anthropogen verursachte Kunstprodukte dar (Salinenwirtschaft, Reparationshiebe, überhöhte Wildbestände), welche man durch aktive Maßnahmen deutlich schneller wieder in Richtung eines naturnäheren Zustandes entwickeln kann. Insofern wäre ein Unter-Schutzstellen dieser Bestände auch unter dem Aspekt der Biodiversität nicht empfehlenswert. Man kann hier parallelen zur sogenannten „intermediate disturbance hypothesis“ erkennen. Dies ist eine Theorie aus der Forschung zur Diversität, welche besagt, dass die Diversität dort am höchsten ist, wo die Störungen eines Systems in einem mittleren Bereich liegen (CONNELL 1978, GÜNTER et al. 2007). Dabei kann dieser Bereich auf den Raum, die Zeit oder auch auf die Intensität der Störung bezogen sein. Räumlich betrachtet und auf die Fichtenbestände übertragen würde dies heißen, dass bei zu kleinen Störungen keine Erhöhung der Biodiversität stattfindet. Tritt aber eine Kalamität mit großer Schadfläche ein, ist die Störung so groß, dass sich im Wesentlichen nur Pioniere etablieren können. Bei mittleren Störungen, wie sie beispielweise Femelhiebe darstellen, können sich unterschiedliche Arten einfinden. Die Übertragbarkeit der „intermediate disturbance hypothesis“ auf Fichtenbestände der Bergmischwaldstufe mag begrenzt sein und bedürfte einer fundierten Untersuchung. Eine Studie von AMMER und STIMM (1996) aus der Bergmischwaldforschung gibt jedoch gewisse Anhaltspunkte für die Anwendbarkeit der Theorie im Bergwald. Die Autoren stellten fest, dass Femelhiebe die Artenzahl und Diversität der Baumartenverjüngung und Bodenvegetation gegenüber unbehandelten Kontrollparzellen erhöhten. Dagegen entwickelte sich auf den parallel ange-

legten Kahlflächen nur Ahornverjüngung, welche nach einigen Jahren auch die Bodenvegetation ausdunkelte. Die Artenzahl ging demnach wieder zurück.¹³⁹

Auch aus finanzieller Sicht ist eine Einstellung der Bewirtschaftung in den Fichtenbeständen in den meisten Fällen nicht sinnvoll, wie der dritte Teil der vorliegenden Untersuchung gezeigt hat.

Letztlich ist eine Einstellung der Bewirtschaftung von Bergwäldern auch im Hinblick auf den Klimawandel nicht opportun, da bei der Verwendung des Holzes große Mengen an CO₂ gebunden werden können bzw. die Nutzung fossiler Brennstoffe umgangen werden kann. In den unbehandelten Reifestadien wiesen die Bestände gewaltige Vorratshöhen zwischen 500 und 1100 Efm/ha auf. Wenn die Bestände im Zuge einer Nutzung gezielt verjüngt werden, kann im nachwachsenden Holz bald weiterer Kohlenstoff gespeichert werden.

Einige Untersuchungen aus der Schweiz propagieren in letzter Zeit aus finanziellen Gründen zwar keine Einstellung der Bewirtschaftung, aber eine extreme Einschränkung auf die aller-nötigsten Maßnahmen. Unter dem Stichwort „Situative Durchforstung“ wird dafür plädiert, sehr lange gar nicht in die Bestände einzugreifen und schließlich nur Maßnahmen zu ergreifen, wenn es die Situation erfordert (SCHÜTZ 1996, 1999b, 2004, AMMANN 1999). Solch eine Vorgehensweise muss aufgrund der Ergebnisse vorliegender Studie sowohl aus biologischer als auch aus finanzieller Sicht entschieden abgelehnt werden. Die Ergebnisse der Feldstudie zeigen eindeutig, dass nennenswerte Stabilisierungseffekte nur dann erreicht werden können, wenn man äußerst früh in die Bestände eingreift. Die Eingriffe müssen also zu einem Zeitpunkt stattfinden, wo noch lange keine Stabilitätsgefährdung erkennbar ist. Greift man erst ein, wenn eine negative Entwicklung schon erkennbar ist, dann ist es für Stabilisierungseffekte längst zu spät. Diese Feststellung wird auch durch Ergebnisse von BOLKENIUS (2003, S. 126) gestützt:

„Behandlungskonzepte mit langfristig hohen Stammzahlhaltungen und somit kleineren Standräumen oder gar ‚Nichtstun‘ beeinträchtigen entscheidend nicht nur die ökonomische Leistung, sondern auch die Wurzelsysteme und damit die Stabilität der Bestände.“

Die planmäßige Unterlassung von Jungbestandspflegen nach diesem Konzept wird später noch diskutiert.

Ein weiterer Bestandteil dieses Konzeptes, die Beschränkung der Eingriffe auf nur leichte Befreiung der Kronen einzelner Bäume, kann auch nicht als zielführend angesehen werden. Zeigt die vorliegende Untersuchung doch ähnlich wie andere Versuche zur Durchforstung

¹³⁹ Letztlich muss hierbei auch immer der zeitliche Aspekt berücksichtigt werden. Vgl. hierzu das „Hubbard Brook Experiment“ (GOVE et al. 1992).

von Fichte (Huss 1990, Huss und Hahn 2007), dass eine entscheidende Verbesserung von Stabilitätsweisern wie beispielsweise dem h/d-Verhältnis nur mittels kräftiger Eingriffe möglich ist. Wenn man früh genug beginnt, kann man solche Eingriffe auch noch annähernd gefahrlos tätigen.

Auch aus finanzieller Sicht ist das Konzept der situativen Durchforstung kritisch zu hinterfragen. Als Begründung für dieses Konzept werden lediglich einfache Kalkulationen von Deckungsbeiträgen durchgeführt. Wie aber bereits vorstehend ausgeführt wurde, verändert die Berücksichtigung von Risiken die finanzielle Beurteilung von waldbaulichen Maßnahmen entscheidend.

Auch in einigen Studien aus Großbritannien wird generell von Durchforstungen abgeraten (Gardiner et al. 1997, Gardiner und Quine 2000). Die Autoren sind der Meinung, dass nach Durchforstungen zwar die Widerstandskraft der Bäume gegen Windwurf steige, aber die negativen Effekte von höheren Windlasten und größeren Biegemomenten überwiegen. Allerdings basieren diese Schlussfolgerungen auf Modellen, welche ein adaptives Wurzelwachstum nach Durchforstungen nicht berücksichtigen. Aus diesem Grund ist die Schlussfolgerung der Autoren keineswegs zwingend.

Generell sollte auch der simple Effekt, den Moog (2004) beschreibt, bedacht werden. Absenkungen des Bestockungsgrades mindern die einem Risiko ausgesetzten Vorräte. In einem Schadmengen-Prognosemodell von Müller (2002) war daher auch die einflussreichste Variable die Vorratshöhe der Bestände. Auch Brang (2004) sieht in steigenden Vorräten aufgrund zurückhaltender Nutzungen eine Ursache für erhöhte Schadanfälligkeit und ein erhöhtes Schadenspotential in Bergwäldern.

Fazit: Planmäßige Eingriffe sind aus ökologischer Sicht zur Erhaltung der Schutzfunktion und zum sukzessiven Umbau der Fichtenbestände in strukturierte Mischbestände empfehlenswert. Auch ökonomische Betrachtungen sprechen in weiten Bereichen für die waldbaulichen Maßnahmen.

Zielrichtung der Eingriffe: Resistenz oder Elastizität?

Die Experteninterviews machten deutlich, dass die forstlichen Wirtschaftler ein Hauptaugenmerk auf gemischte und möglichst strukturierte Folgebestände, also eine Erhöhung der Elastizität legen, während sie eine Resistenzerhöhung der Altbestände nur in bestimmten Fällen für möglich halten. Diese Einschätzung wird durch die Feldstudie eindeutig gestützt. Im Be-

reich der Elastizität liegen die größeren Behandlungseffekte.¹⁴⁰ Wenn die Altbestände, wie in vielen Bereichen der Fall, bereits 50 Jahre oder älter und dabei gänzlich unbehandelt sind, kann mit einer substanziellen Erhöhung der Resistenz nicht mehr gerechnet werden.

Befindet man sich allerdings noch in einem Bereich, wo Eingriffe zur Erhöhung der Resistenz Erfolg versprechend erscheinen, sollte diese Möglichkeit tunlichst ausgeschöpft werden. Verringern doch stabilere Einzelbäume die Gefahr von Schäden bei der zwangsläufigen Öffnung des Kronendaches im Rahmen von Verjüngungseingriffen.

Fazit: Im Bereich der Elastizität sind schnellere und stärkere Behandlungseffekte erzielbar als im Bereich der Resistenz. Deshalb sollte auf die Verjüngung das Hauptaugenmerk gelegt werden.

Wann sollte wie stark eingegriffen werden?

In den Befragungen wurden relativ häufig Konzepte skizziert, bei denen der Ersteingriff so lange hinausgeschoben wird, bis sich ein positiver Deckungsbeitrag ergibt. Ab diesem Zeitpunkt wurden starke Eingriffe vorgesehen, um entweder die Resistenz der Altbestände schnell zu erhöhen oder um schon früh Vorausverjüngung zu erzeugen.

Aus einfachen finanziellen Überlegungen heraus mögen solche Konzepte sinnvoll erscheinen. Hinsichtlich der Resistenz der Altbestände ist dieses Vorgehen allerdings als äußerst kontraproduktiv anzusehen, wie sowohl Literaturanalysen als auch die eigene Feldstudie gezeigt haben. In früher Jugend, wo die Fichten noch am reagibelsten sind, wird die Chance zur Erhöhung der Einzelbaumstabilität nicht genutzt. Und in einem Stadium, wo die Bestände Höhen erreicht haben, ab denen die Gefahr von Sturmschäden deutlich ansteigt, werden plötzliche starke Eingriffe getätigt, von denen man weiß, dass sie die Bestandesstabilität zunächst reduzieren (BURSCHEL 1981, CREMER et al. 1982, ROTTMANN 1986, LOHMANDER und HELLES 1987, ABETZ 1991, KÖNIG 1995, 1996, GARDINER et al. 1997, PELTOLA et al. 1999, HUGGARD et al. 1999, 2001, DOBBERTIN et al. 2002, ZHU et al. 2003a, 2003b, INDERMÜHLE 2005, CLASEN et al. 2008). LEIBUNDGUT (1978, S. 151) beschreibt solches Vorgehen kurz folgendermaßen: „Die Hauptübel des Gebirgswaldbaues liegen in den verspäteten, zu seltenen und zu starken Eingriffen...“.

Laut Literaturangaben steigt die Gefahr für Sturmschäden ab einer Bestandeshöhe von (15-) 20 m deutlich an (ROTTMANN 1986, KÖNIG 1995, SLODICKAK 1995, MÜLLER 2000, 2002, DHÔTE

¹⁴⁰ Vgl. auch BRANG (2004, S. 60).

2005, DOBBERTIN 2005, MAYER et al. 2005, INDERMÜHLE et al. 2005). Die Bestände in den Jugendstadien der Feldstudie weisen mittlere Höhen von 16-22 m und Oberhöhen von 19-24 m auf und wachsen damit gerade in den gefährdeteren Bereich ein. In den Wachstumsstadien liegen die Mittelhöhen bereits bei 18-26 m und die Oberhöhen bei 21-30 m, also schon in einem Bereich, wo Eingriffe mit deutlichen Risiken verbunden sind.

Viele Autoren empfehlen zur Stabilisierung von Waldbeständen (oft unter der Bezeichnung „Gestaffelte Durchforstung“) eine umgekehrte Vorgehensweise wie in den Befragungen genannt. Bei diesen Konzepten sollen die starken Eingriffe möglichst früh erfolgen, wenn sich die Bestände noch nicht in den gefährdeten Höhenbereichen befinden (ABETZ 1975, BURSHEL, 1981, ROTTMANN 1986, THOMASIU 1988b, NIELSEN 1990, 1991, 1995, SLODICÁK 1995, WILSON und OLIVER 2000, CAMERON 2002, VANOMSEN 2006, KALBERER et al. 2007). Später wird die Eingriffsstärke eher reduziert.

Die Resistenz von Altbeständen folgt im Verlauf von Durchforstungen gleichsam einer Wellenbewegung. Kurz nach einer Durchforstung befindet sich die Resistenz aufgrund der Unterbrechung des Bestandesgefüges in einem Wellental, steigt dann aber aufgrund adaptiven Wachstums der Einzelbäume wieder bis zu einem Wellenberg an, bevor dann die nächste Durchforstung durchgeführt wird. Die starken Eingriffe müssen dabei so rechtzeitig erfolgen, dass der Ausschlag nach unten nicht lebensbedrohlich für den Bestand wird.

CREMER et al. (1982) fügen ihrer Empfehlung, den Bäumen möglichst früh einen großen Standraum zu verschaffen, allerdings bereits die Einschränkung bei: „soweit sich dies mit anderen waldbaulichen und ökonomischen Notwendigkeiten vereinbaren lässt“. Die ökonomischen Notwendigkeiten sind in der Regel der Grund dafür, dass die Eingriffe zu spät erfolgen, obwohl die negativen Konsequenzen dieses Vorgehens schon lange bekannt sind.

Insofern sind die Ergebnisse der finanziellen Teilstudie besonders bedeutsam, da sie dokumentieren, dass die Behandlungsvariante unter Berücksichtigung von Risiken auch dann noch finanziell günstiger als die Nicht-Behandlungsvariante abschneiden kann, wenn der Ersteingriff defizitär ausfällt.

Das Bestreben der Forstpraktiker, möglichst früh (beispielsweise ab dem Alter 50-60) Eingriffe zu führen, welche auf Verjüngung abzielen, ist angesichts der Ergebnisse aus der Feldstudie zu befürworten. Allerdings sollte hier berücksichtigt werden, dass sich zur Erzeugung von Naturverjüngung die potenziellen Samenbäume bereits im mannbaren Alter befinden müssen, wenn diese Maßnahmen Erfolg haben sollen. Laut ROHMEDE (1972) ist der Beginn der Mannbarkeit in geschlossenen Beständen bei Fichte im Alter 50-60 Jahre, Buche 50-80 Jahre,

Tanne 60-80 Jahre und Ahorn 30-50 Jahre. Haben die Samenbäume dieses Alter noch nicht erreicht, muss man rechtzeitig mit künstlicher Verjüngung arbeiten.

Hinsichtlich der Eingriffsstärke bei den Verjüngungshieben sei auf die zahlreichen Arbeiten aus der Bergmischwaldforschung des Lehrstuhls für Waldbau an der TU München verwiesen (z.B. MOSANDL und EL KATEB 1988, BURSCHEL et al. 1990, MOSANDL 1991, AMMER 1996a).¹⁴¹ Diesen Untersuchungen zufolge sollen die Eingriffe während des Ansamlungsstadiums so stark geführt werden, dass ein Wachstum der Verjüngungspflanzen gewährleistet ist, aber die Bodenvegetation nicht zu stark angeregt wird und der Altbestand nicht zu stark destabilisiert wird. MOSANDL (1991) und AMMER (1996a) empfehlen im Bergmischwald, die Grundfläche durch eine Hiebsmaßnahme um nicht mehr als 30% abzusenken. In den reinen Fichtenbeständen sollte man mindestens genau so vorsichtig vorgehen. Erst wenn die Pflanzen sich etabliert haben, kann im folgenden Lichtungsstadium stärker eingegriffen werden.

Insofern sind die zum Teil in den Interviews genannten extrem starken Umbaumaßnahmen als nicht zielführend anzusehen, sofern eine Wiederbestockung über Naturverjüngung gewünscht ist. Wenn sich die Bestände nach diesen Maßnahmen nicht mehr schließen und sich starke Bodenvegetation entwickelt, ist die Chance auf Naturverjüngung für lange Zeit verspielt.

Fazit: Starke Eingriffe zur Erhöhung der Resistenz müssen möglichst früh erfolgen, so lange sie besonders wirksam und nicht lebensbedrohlich für die Bestände sind. Auch Verjüngungseingriffe sollten möglichst früh (ab Alter 50-60) erfolgen, um genügend Zeit zum Sammeln von Verjüngung zu haben. Die Eingriffe sollten in der Phase des Sammelns die Bestandesgrundfläche nicht mehr als 30% absenken, damit die Bodenvegetation nicht zu stark angeregt wird und der Altbestand nicht zu stark destabilisiert wird.

Jungbestandspflege oder nicht?

Viele der Befragten waren der Meinung, dass Jugendpflegemaßnahmen nur zur Sicherung von Mischbaumarten nötig seien und einige gaben an, dass solche Maßnahmen aus Kostengründen generell unterlassen werden. In der Feldstudie wurden JP-Maßnahmen zwar nicht explizit untersucht, aber es zeigte sich, dass die jüngsten Bestände besonders reagibel sind. In der Literatur fanden sich Zitate mehrerer Autoren, in denen die Meinung zum Ausdruck gebracht wird, dass JP-Maßnahmen die wirkungsvollsten Eingriffe zur Erhöhung der Resis-

¹⁴¹ Vgl. Kap. 2.4.2.

tenz überhaupt darstellen und durch keine spätere Behandlung ersetzt werden können (MARSCH 1989a, 1989b, GÄRTNER 1990, NIELSEN 1990, 1991, 1995, BOLKENIUS 2001, 2003). Begründet wird dies vor allem mit einer grundsätzlich verbesserten Wurzelentwicklung.

Zwar weisen einige Autoren (LEDER 1998, AMMANN 1999) darauf hin, dass sich besonders vitale Bäume auch ohne JP ausreichenden Wuchsraum verschaffen, dies reicht laut KENK und WEISE (1998) aber nicht für eine Stabilisierung der Bestände aus.

Eine auch in manchen Experteninterviews geäußerte Ansicht, Schneebrüche könnten eine Jungwuchspflege ersetzen, wird abgelehnt, da es in ungepflegten Beständen zu gruppenweisen Schädigungen kommen kann und die Schneebrüche oft aus Forstschutzgründen unter hohem finanziellen Aufwand aufgearbeitet werden müssen (HUSS 1998, KENK und WEISE 1998, RÖHRIG et al. 2006).

Obwohl sie keinen direkten Ertrag bringen, können JP-Maßnahmen trotzdem finanzielle Vorteile bringen. Laut den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung genügen bereits Stabilisierungseffekte der Jugendpflegemaßnahmen, welche die Ausfallwahrscheinlichkeiten der Bestände um 1/6 bis 1/3 reduzieren, um diese Eingriffe auch finanziell attraktiv zu machen. Dabei wurden zuwachssteigernde Effekte, wie sie von KENK und WEISE (1998) sowie KOHNLE und v. TEUFFEL (2005) angeführt werden, noch gar nicht berücksichtigt.

Zu einer stabilisierenden Wirkung an den Fichten kommt schließlich noch der Effekt der Erhaltung vereinzelt vorhandener Mischbaumarten, welche ihrerseits einen Beitrag zur späteren Stabilität des Altbestandes leisten können.

Insofern können Jugendpflegemaßnahmen grundsätzlich empfohlen werden. Anders stellt sich die Situation dar, wenn die Fichten unter Schirm stark differenziert erwachsen. Dann kann auf stabilitätsfördernde Eingriffe verzichtet werden. Das Vorhandensein einer ausreichenden Überschildung macht oftmals auch eine Mischungsregulierung, beispielsweise zugunsten vorhandener Tannen, überflüssig (KOHNLE et al. 2005).

Fazit: Jungbestandspflege (JP) ist die effektivste Maßnahme zur Erhöhung der Resistenz. Wird die Resistenz durch diese Eingriffe ausreichend gesteigert, ist die JP auch finanziell vorteilhaft.

Wie sollte man eingreifen?

In den Experteninterviews kristallisierten sich hinsichtlich der bevorzugten Eingriffsarten Präferenzen heraus, sowohl bei der Jungbestandspflege als bei Durchforstungs- und Verjün-

gungseingriffen. Die unterschiedlichen Maßnahmen konnten zwar im Rahmen der Feldstudie und der finanziellen Untersuchung nicht getrennt betrachtet werden. Aber anhand der Literaturanalysen lässt sich eine ergänzende Wertung der vorgeschlagenen Maßnahmen vornehmen.

Sofern die Befragten eine JP durchführten, wurde im Wesentlichen für punktuelle Eingriffe zur Förderung einzelner Bäume plädiert. Weiterhin gab es je eine Nennung für ein schematisches Abstandsverfahren und die frühe Ausformung von Rotten. Gerade für stammzahlreiche wenig differenzierte Naturverjüngungen können punktuelle Pflegemaßnahmen befürwortet werden. DONG (1995) empfiehlt dabei beispielsweise ein Auskesseln mit einem Radius von mindestens 1,5 m. Geringere Abstände führen nicht zu den gewünschten Ergebnissen hinsichtlich Höhenentwicklung und Entwicklung der h/d-Verhältnisse bei den geförderten Bäumen. Abstandsverfahren sind in der Regel kostenintensiver als punktuelle Eingriffe. Und eine Ausformung von Rotten in der beschriebenen Weise schränkt zum einen den verfügbaren Wuchsraum auf der Fläche stark ein und entspricht zum anderen nicht der natürlichen Dynamik im Bergmischwaldbereich. Derartige Strukturen sind eher im subalpinen Bereich anzutreffen (ZELLER 1996, OTT et al. 1997).

Bei den Durchforstungen wurde von den Forstpraktikern oft die Entnahme von geschälten oder anderweitig instabilen Elementen beschrieben, was man auch als eine Strategie der „passiven Stabilisierung“ bezeichnen kann. Darüber hinaus sprachen sich mehr Befragte für Auslesedurchforstungen als für Gruppendurchforstungen aus.

Den Versuch einer passiven Stabilisierung kann man mit Blick auf die Literatur als durchaus Erfolg versprechend bezeichnen. So wiesen VALINGER et al. (1993) nach, dass die Wahrscheinlichkeit von Wind- und Sturmschäden um bis zu 40% sinken kann, wenn im Rahmen von Durchforstungen sogenannte „High-Risk-Trees“ gezielt entnommen werden. In der genannten Untersuchung wurden zur Definition dieser besonders gefährdeten Bäume zwar andere Kriterien verwendet, das Konzept der Entnahme von „High-Risk-Trees“ lässt sich aber sicher auf stark geschälte oder auch wenig vitale Bäume übertragen.

Auch hinsichtlich der Durchforstungsart sind die Befragungsergebnisse zu bekräftigen. Nicht nur die Literaturlauswertungen sondern auch die Feldstudie haben gezeigt, dass eine Erhöhung der Einzelbaumresistenz gerade in der frühen Durchforstungsphase von Bedeutung ist. Solche Einzelbaumstabilisierung kann am ehesten mit Auslesedurchforstungen erreicht werden. In schneebruchgefährdeten Regionen spielt auch die Kronensymmetrie eine wichtige Rolle. Bäume mit einseitigen Kronen werden vermehrt durch Schneebruch geschädigt (Huss 1998). Im Rahmen von Auslesedurchforstungen kann darauf geachtet werden, dass die

Bäume regelmäßige Kronen ausbilden. Gruppendurchforstungen haben dagegen den Effekt einseitiger Kronenausprägung (SPELLMANN 1995). Eine praktische Empfehlung im Rahmen der Auslesedurchforstung lautet dabei auch, möglichst den bergseitigen Bedränger zu entnehmen (WALD 1998, SCHÖLCH, mündliche Mitteilung). Druck von oben führe dazu, dass die Krone des Auslesebaumes nach unten ausgelenkt wird, was bei Nassschneeereignissen zu Bruchschäden führen kann.

Ein verhältnismäßig früher Übergang zu gruppenfördernden Eingriffen ergibt sich allerdings, wenn man frühzeitig auf Verjüngungseingriffe setzt, was nach den Ergebnissen der Feldstudie auch empfohlen werden kann. Hierbei handelt es sich dann allerdings nicht um Gruppendurchforstungen, sondern um Gruppenschirmstellungen, die im Rahmen des Femelschlagverfahrens angelegt werden (MOSANDL 1984, BURSCHEL und HUSS 1997). Der Femelschlag war auch das von den meisten Experten favorisierte Verjüngungsverfahren, ggf. ergänzt durch eine Saumkomponente, wenn sich der Altbestand als besonders instabil darstellt. Laut MOSANDL (1984, 1991) ist dieses Verfahren im Bergmischwaldbereich durchaus empfehlenswert, da sich hierbei sehr gut natürliche Vorausverjüngung sammeln lässt und keine flächige Destabilisierung auftritt wie beim Schirmschlag. Auch LEIBUNDGUT (1984) empfiehlt für die Verjüngung standortswidriger Bestände ein gruppen- oder horstförmiges Femelschlagverfahren oder das Saumfemelschlagverfahren. Die Ergebnisse der Feldstudie zeigen, dass auch in den reinen Fichtenbeständen mittels Gruppenschirmstellungen Verjüngung gesammelt werden kann. Dieses Verfahren ist vor allem während der Ansamlungsphase von Verjüngung sehr geeignet. Hat sich genügend Verjüngung eingestellt bzw. wurde diese im Zuge von zusätzlichen Pflanzungen eingebracht, besteht hinsichtlich der weitergehenden Lichtungsmaßnahmen weitgehende waldbauliche Freiheit (MOSANDL 1991, AMMER 1996a). Hier wird es darauf ankommen, wie lange man den Altbestand noch halten will und kann.

Einige Experten gaben letztlich noch an, bei den Eingriffen quasi patchwork-artig vorzugehen, um nicht großflächige Bereiche zu destabilisieren. Nachdem jede Durchforstungsmaßnahme zunächst zu einer Destabilisierung führt, ist diese Vorgehensweise sicher sinnvoll.

Grundsätzlich wäre anstelle von Auslesedurchforstung und anschließendem Femelschlag auch eine beginnende Überführung zu Plenterstrukturen denkbar. Femelschlagwälder weisen zwar z.T. ähnliche Eigenheiten wie Plenterwälder auf (BURSCHEL und HUSS 1997), dennoch gibt es gravierende Unterschiede zwischen Femelschlagwald und Plenterwald (AMMON 1937). Es ist demnach auch ein feiner Femelschlag keine Plenterung (STOCKER 2007).

Die für eine beginnende Überführung zum Dauerwald nötigen Vorgehensweisen einer Plenterdurchforstung nach BIOLLEY (1887, 1921) bzw. einer Strukturdurchforstung (REININGER

1987, 1990, GOLTZ 1991, SPELLMANN 1995, ARBEITSGEMEINSCHAFT NATURGEMÄBE WALDWIRTSCHAFT 2001, LEDER 2002) wurden in Kapitel 2.4.1.2. ausführlich erläutert. Allerdings ergeben sich für die reinen Fichtenbestände hierbei gravierende Einschränkungen. An eine Überführung unter Einbeziehung der Ausgangsbestockung ist nur zu denken, wenn genügend stabile Elemente im Altbestand vorhanden sind (SCHÜTZ 1999a, 2001a) bzw. wenn man früh genug beginnen kann. HANEWINKEL (1996) sieht im Flachland die Möglichkeit einer solchen Überführung nur gegeben, wenn der Ausgangsbestand eine Oberhöhe von 18 m noch nicht überschritten hat. FAVRE (1956) hält es für notwendig, noch in der ersten Hälfte des Bestandeslebens mit Überführungsmaßnahmen zu beginnen. SCHMITT (1994a, 1994b) und STEGER (1999) berichten von einem gelungenen Beispiel der Überführung im Flachland im Stadtwald München, das zu einem etwas späteren Zeitpunkt gestartet wurde. Laut STERBA (1999) sowie STERBA und ZINGG (2001) ist es im Hinblick auf eine Überführung vor allem wichtig, rechtzeitig unterständige Bäume mit langen Kronen zu erhalten, die nach einer ggf. erfolgreichen Zielstärkennutzung gute Entwicklungschancen haben. Bei Bäumen mit großer Krone treten Alterserscheinungen deutlich später auf als bei kleinkronigen Bäumen (SCHÜTZ 1969). Auch andere Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass es für die allmähliche Überführung von Altersklassenwäldern in strukturierte Bestände von entscheidender Bedeutung ist, den Bäumen einen möglichst hohen Bekronungsgrad zu erhalten (SPATHELF 1999, EPP 2004, EPP et al. 2004).

SPELLMANN (1995) ist der Meinung, dass für eine Entwicklung von ungleichaltrigen Waldgefügen aus Fichtenbeständen ein längerer Weg über femelartige Verjüngungen unvermeidbar ist. Generell ist die Überführung von gleichförmigen zu ungleichförmigen Beständen ein sehr schwieriges Unterfangen (BRANG et al. 2004). So weisen im Kanton Neuenburg, wo seit über 100 Jahren nur noch geplentert wird, erst ca. 25% der Bestände eine ideale Plenterstruktur auf (SCHÜTZ 1994). Und einen reinen Fichtenbestand in eine Plenterstruktur zu bringen, ist kurzfristig unmöglich. Eine Strukturdurchforstung kann nie eine echte Ungleichaltrigkeit im Bestand erzeugen. Wohl aber trägt sie dazu bei, den Verjüngungszeitraum möglichst lange zu strecken. Dadurch können möglicherweise über den Folgebestand zumindest plenterartige Strukturen geformt werden. Ideale Plenterstrukturen sind für Schutzwälder ohnehin nicht zwingend notwendig (BRANG et al. 2004).

Fazit: Im Bereich der Jungbestandspflege sind punktuelle Maßnahmen zu empfehlen. Durchforstungsmaßnahmen sollten in Form einer Auslesedurchforstung erfolgen. Ausleseebäume sind in diesem Fall die stabilsten Elemente. Im Rahmen einer „passiven Stabilisierung“ können auch gezielt besonders instabile Elemente entnommen werden. Ein geeignetes Verfah-

ren zur Verjüngung stellt der Femelschlag, ggf. ergänzt durch eine Saumkomponente dar. Denkbar ist auch eine beginnende Überführung zu Plenterstrukturen, welche in der Folgegeneration fortgesetzt wird.

Natürliche oder künstliche Verjüngung?

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass trotz Fichtenanteilen in den Altbeständen von über 90% eine gemischte Verjüngung erzielt werden kann. Allerdings sind die Verjüngungsdichten gemessen an den für die Erhaltung der Schutzfunktion nötigen Zahlen (FREHNER et al. 2005) zum Teil als unzureichend einzustufen, da sie kaum Reserven für den Fall irgendwelcher Schädigungen beinhalten. Insofern werden Ergänzungspflanzungen empfohlen.

Die Forstpraktiker gaben auch an, solche Pflanzungen z.T. durchzuführen. In den meisten Fällen wurden Pflanzungen von Tanne in Stockachsen oder Buche in Gruppen (20 x 20 m oder 30 x 30 m) genannt. Detaillierte Empfehlungen zur Pflanzung im Schutzwald wurden von der BAYERISCHEN FORSTVERWALTUNG (2007) herausgegeben.

Ein weiteres Argument für Ergänzungspflanzungen findet sich mit Blick auf die genetische Situation. Die geringe Dichte an Samenbäumen der Mischbaumarten wird in vielen Fällen nicht genügen, um in der Folgebestockung für eine ausreichend breite genetische Basis zu sorgen. Dies zeigt beispielsweise ein Vergleich mit den Mindestzahlen an Samenbäumen, die nötig wären, um eine Saatgutbeerntung in diesen Beständen genehmigt zu bekommen. Für die Zulassung von Erntebeständen der entscheidenden Vermehrungsgutskategorie „Ausgewählt“ werden bei der Tanne 40 Bäume pro Bestand und 20 Bäume pro Beerntung gefordert. Bei der Rotbuche sind es über 800 m NN auch noch 20 Bäume pro Bestand und 10 Bäume pro Ernte (AID INFODIENST 2003). Auch MÜLLER-STARCK und STIMM (2007) führen diese Zahlen als Mindestwerte für eine ausreichende genetische Variation an. FRANKEL und SOULÉ (1992) sowie GRAUDAL et al. (1997) nennen als Mindestzahl, um Selbstbestäubungseffekte nicht zu groß werden zu lassen, 50 Individuen, welche sich untereinander austauschen. Diese Zahlen werden von den vereinzelt Buchen, Tannen und Ahornen in den Fichtenbeständen oft nicht erreicht.

Gerade im Hinblick auf den Klimawandel, der verschiedenste Veränderungen und Gefährdungen für die Waldbäume mit sich bringt, ist eine breite genetische Basis der Bäume von großer Bedeutung (WÜHLISCH 2006, KONNERT 2007). Bäume, die verhältnismäßig gut mit den auftretenden neuen Rahmenbedingungen zurechtkommen, sind im Vorteil, während weniger

anpassungsfähige Bäume ausfallen. Es findet also eine Selektion innerhalb des vorhandenen Genpools statt (WAGNER 2004, WAGNER und FISCHER 2007). Deshalb sollte bei der geringen Zahl an Samenbäumen der Mischbaumarten und einem damit potenziell eingeschränkten Genpool nicht ausschließlich auf die Naturverjüngung gesetzt werden.

Besondere Berücksichtigung bei der künstlichen Verjüngung sollte die Tanne erfahren. Die verstärkte Einbringung von Tannen ist eine wichtige Maßnahme zur Vorbereitung von Schutzwäldern auf Klimaveränderungen. Dass der Klimawandel eindeutige Auswirkungen auf Waldökosysteme hat, ist zweifelsfrei belegt (ROSENZWEIG et al. 2008). Besonders empfindliche Folgen können Extremereignisse wie der trockene Sommer 2003 nach sich ziehen. Laut STOTT et al. (2004) wurde durch menschliche Einflüsse die Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse mindestens verdoppelt. Treten im Zusammenhang mit dem Klimawandel häufiger Trockenheitsereignisse auf, ist vor allem die Fichte besonders gefährdet (HÖLLERL 2004, BORCHERT und KÖLLING 2004, KÖLLING 2007a, 2007b, KÖLLING et al. 2007). Zwar ist die Fichte im Gebirge nicht so stark vom Klimawandel betroffen wie im Flachland (KÖLLING und AMMER 2006, KÖLLING et al. 2007), aber auch hier gibt es problematische Standorte für sie. Hinzu kommt eine erhöhte Aktivität von Forstschädlingen wie beispielsweise dem Borkenkäfer auch in höheren Lagen (LOBINGER 2002, IMMLER und BLASCHKE 2007, ENGESSER et al. 2008). Zudem steigt das Risiko von Naturgefahren in diesem Bereich (BINDER 2007b). Wenn es um die Naturgefahr von Lawinen geht, sind jedoch immergrüne Nadelbaumarten wie Fichte und Tanne aufgrund ihrer Interzeptionseigenschaft von entscheidender Bedeutung (FREHNER et al. 2005, BINDER 2007b) und sollten in Schutzwaldbeständen mit hohen Anteilen vertreten sein. Kommt es bei den Fichten zu größeren Ausfällen, ist man demnach unweigerlich auf die Tanne angewiesen.

Sowohl die Bemühungen, eine möglichst hohe Naturverjüngungsdichte zu erzeugen, als auch die Bemühungen zur künstlichen Einbringung von Mischbaumarten können jedoch nur von Erfolg gekrönt sein, wenn der Wildstand entsprechend angepasst ist. In diesem Zusammenhang ist es nachgerade deprimierend, anhand der Literaturrecherche zu sehen, mit welcher Regelmäßigkeit immer wieder festgestellt wird, dass der Wildstand der entscheidende limitierende Faktor für die Verjüngung im Gebirgswald ist (EIBERLE und NIGG 1987, LISS 1987, BERNHART 1988, LISS 1988a, 1988b, EIBERLE 1989, LISS 1989, BURSCHEL et al. 1990, MOSANDL 1991, EL KATEB 1991, AMMER 1996a, 1996b, 2009, MOTTA 1996, 1999, SCHALL 1998, RÜEGG und NIGG 2003, BAIER und GÖTTLEIN 2006b, PRIETZEL 2007a, 2007b, PRIETZEL und AMMER 2008). Auch die forstlichen Wirtschaftler sind sich dieser Tatsache bewusst (BINDER und BAUER 2006). Dennoch ist es offenbar extrem schwierig, auf großer Fläche die nötigen Konse-

quenzen zu ziehen und den Wildbestand auf ein verträgliches Maß zu reduzieren. In jüngster Zeit ist die Verbißbelastung im Alpenraum sogar wieder angestiegen (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2006, BROSINGER 2008). Nachdem der Grundsatz „Wald vor Wild“ seit 2005 sogar im Waldgesetz für Bayern (BAYERISCHE STAATSREGIERUNG 2008) verankert ist, sollte dieses Gesetz konsequent angewandt und dieser Grundsatz endlich in der Praxis umgesetzt werden, um die Voraussetzungen für eine ungehinderte natürliche Verjüngung in Schutzwäldern zu schaffen. Es bleibt zu hoffen, dass dies geschieht, bevor weitere Millionen Euro in die Schutzwaldsanierung investiert werden müssen oder größere Katastrophen eintreten.

Fazit: Natürlich ankommende Verjüngung sollte übernommen und durch künstliche Verjüngung ergänzt werden. So soll eine zur Erhaltung der Schutzwirkung ausreichende Zahl von Verjüngungspflanzen und eine ausreichend breite genetische Basis für sich ändernde Umweltbedingungen erzeugt werden. Für einen Erfolg der Verjüngungsaktivitäten sind angepasste Wildbestände unerlässlich.

7 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Mit den vorliegenden Forschungsergebnissen konnten viele entscheidende Fragen zur Behandlung reiner Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone beantwortet werden. So konnte die generelle Notwendigkeit waldbaulicher Maßnahmen in diesen Beständen nachgewiesen und auch deren finanzielle Auswirkungen aufgezeigt werden. Auch Hinweise zu den richtigen Eingriffszeitpunkten konnten gegeben werden. Hinsichtlich der geeigneten Eingriffsstärken konnte zumindest demonstriert werden, dass es ein „zu wenig“ und ein „zu viel“ gibt. Dazwischen gibt es eine größere Bandbreite an möglichen und sinnvollen Maßnahmen. Angaben, welche über das in den vorigen Abschnitten beschriebene hinausgehen, auch zu den optimalen Eingriffsarten, ließen sich anhand der retrospektiven Feldstudie nicht machen. Der Vorteil des retrospektiven Ansatzes liegt darin, dass die Ergebnisse in verhältnismäßig kurzer Zeit erarbeitet werden konnten. Möchte man noch genauere Informationen zu Eingriffsstärken und –vorgehensweisen erhalten, muss man auf Basis der vorliegenden Resultate langfristige Versuchsflächen anlegen. Aber auch ohne Langzeitversuchsflächen sind die Ergebnisse des Forschungsprojektes geeignet, um wichtige Strategien für die forstliche Praxis abzuleiten.

7.1 Ausblick für die Praxis

Die logische Konsequenz aus den gewonnenen Erkenntnissen müsste einerseits eine Pflegeoffensive zur Erhöhung der Resistenz in den jüngeren Fichtenbeständen sein. Andererseits sollten die Eingriffe in den mittelalten und älteren Beständen nicht mehr vornehmlich auf

Stabilisierung sondern ganz klar auf die Verjüngung der Bestände ausgerichtet sein. Aus den vorstehend genannten Gründen sollten dabei zusätzlich zur Naturverjüngung Ergänzungspflanzungen durchgeführt werden. In Schutzwäldern muss dabei auf die Erhaltung eines ausreichenden Anteiles an immergrünen Nadelbaumarten geachtet werden.

7.2 Neue Forschungsfragen

Abgesehen von einem Ausblick auf mögliche praktische Konsequenzen ergeben sich vor allem auch neue Forschungsfragen.

Sollte sich die Möglichkeit zur Anlage von langfristigen Versuchsflächen bieten, wäre eine wissenschaftliche Begleitung von konsequenten Strukturdurchforstungen von Interesse. Die Literaturanalysen haben gezeigt, dass es dazu zwar eine Fülle von theoretischen Überlegungen und Meinungen zu derartigen Eingriffen gibt, aber solche Vorgehensweisen bisher noch nicht umfassend wissenschaftlich untersucht wurden.

Im Zusammenhang mit der vor allem in Schutzwäldern wichtigen Tannenverjüngung und der nach wie vor bestehenden Problematik zu hoher Wildstände ergibt sich konkreter Forschungsbedarf. Zum einen sollte für Bereiche, in denen der Wildstand aus jagdpolitischen Gründen nicht auf ein verträgliches Maß reduziert werden kann, nach Möglichkeiten gesucht werden, wie die Tanne möglichst kostengünstig geschützt werden kann. Herkömmlicher Zaunschutz ist bekanntermaßen im Gebirge nicht effektiv und mit immensen Kosten verbunden. Eine weitere zu prüfende Möglichkeit wären Tannensaatversuche großflächiger Art, da es sich immer wieder gezeigt hat, dass ein Überleben von Jungpflanzen ohne mechanischen Schutz leichter wird, wenn der „Leckerbissen-Effekt“ wegfällt und der Tisch für den Verbiss überreichlich gedeckt ist.

Zum anderen sollten die finanziellen Konsequenzen aufgezeigt werden, welche sich ergeben, wenn sich eine gesicherte Mischwaldverjüngung aus jagdlichen Gründen nicht erreichen lässt und teure Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen. Daraus ergäben sich wichtige Argumente für den gesellschaftlichen Aushandlungsprozess hinsichtlich einer tragbaren Wilddichte. Die beiden letztgenannten Fragestellungen könnten wieder zu einem waldbaulichen Forschungsansatz zusammengeführt werden, der sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte berücksichtigt.

Der Bedarf an immergrünen Nadelbäumen vor dem Hintergrund einer Klimaveränderung, die sich möglicherweise im Gebirge besonders gravierend auswirkt, erfordert notwendigerweise weitere Forschung. Es stellt sich die Frage, ob es neben Fichte und Tanne weitere immergrüne Nadelbaumarten gibt, welche im System Bergmischwald auf verträgliche Art und Wei-

se die Schutzfunktion unterstützen können. Die Douglasie ist sicherlich kein Allheilmittel im Problemfeld Klimawandel und es muss auch reiflich überlegt werden, ob diese Baumart im natürlichen Bergmischwald einen Platz finden kann. Aber es sollten zumindest im Rahmen der Forschung Einsatzmöglichkeiten geprüft werden, damit man im Falle weiterer Klimaveränderungen gerüstet ist. Ausschließlich auf die Tanne zu setzen wäre nämlich eine verfehltete Strategie. Hat diese doch auch ihre spezifischen Schädlinge, welche im Falle größerer Tannenbeteiligungen problematisch werden können (MÖBNANG 2004).

Auch auf dem Gebiet der Wurzelentwicklung der Waldbäume bieten sich im Zusammenhang mit Stabilisierungsbemühungen weitere Forschungsansätze. Wichtige Erkenntnisse lieferten hier die Untersuchungen von NIELSEN (1990, 1991, 1995), der eine frühe Festlegung der Wurzelverzweigungsintensität bei Fichte feststellte und deshalb zur Stabilisierung frühe Pflegeingriffe postulierte. Daran anknüpfend stellt sich die Frage, ob Überschirmung in früher Jugend einen positiven oder eher negativen Einfluss auf die Bewurzelung und damit die Verankerung der Bäume hat. BALSIGER (1925) und DANNECKER (1929) halten eine Überschirmung für positiv und führen darauf auch die Stabilität von Plenterwäldern zurück. Der Waldboden sei dauernd gut durchwurzelt und Jungwüchse könnten von Beginn an kräftige Wurzeln ausbilden. Umfassende Untersuchungen zu diesen Prozessen gibt es aber bisher nicht.

Im Bereich der finanziellen Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen drängen sich auch weitere Fragen auf. Konkreter Forschungsbedarf zeichnet sich hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeiten von Waldbeständen ab. Hier bietet sich ein weites und wichtiges Forschungsfeld. Die Risiken von Schneebruch, Sturmwurf und Insektenkalamitäten haben einen entscheidenden Einfluss auf den finanziellen Erfolg der Waldbewirtschaftung. Wenn es gelingt, die Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen auf die Ausfallrisiken in Waldbeständen genauer zu quantifizieren und somit differenzierte Überlebenswahrscheinlichkeiten aufzustellen, steigt die Qualität der finanziellen Untersuchungen und generell die Qualität der getroffenen Entscheidungen.

Das hier durchgeführte Forschungsprojekt hat gezeigt, dass für fundierte Entscheidungen über geeignete waldbauliche Maßnahmen ein Zusammenspiel aus naturalen und finanziellen Untersuchungen von großem Vorteil ist. Grundsätzlich sollte diese Herangehensweise bei künftigen entscheidungsorientierten Forschungsfragen weiter verfolgt werden. Die Waldbauforschung sollte den Waldbau wieder verstärkt als managementorientierte und synoptische Disziplin verstehen und Untersuchungsansätze verfolgen, die soziale, ökologische und ökonomische Belange gleichermaßen berücksichtigt.

8 Zusammenfassung/Summary

In der Bergmischwaldzone der Alpen gibt es sehr viele Fichtenreinbestände, die anthropogenen Ursprungs sind und als sehr instabil gelten. Allein im Bayerischen Staatswald nehmen derartige Bestände eine Fläche von etwa 30.000 ha ein. Problematisch sind diese vor allem im Bereich des Schutzwaldes, wo die Stabilität (Resistenz und Elastizität) der Waldbestockung eine große Bedeutung bei der Abfederung von Störungen hat.

Langfristig weist ein Wald die größte Stabilität auf und bietet die beste Schutzfunktion, wenn nicht nur der Altbestand resistent gegen Schnee, Sturm und Insekten ist, sondern wenn auch eine vorhandene Vorausverjüngung für schnelle Erneuerung nach Schadereignissen sorgt.

Hinsichtlich der geeigneten Behandlung zur Erhöhung der Stabilität von Fichtenreinbeständen im Gebirge gibt es aber eine Reihe offener Fragen. Letztlich fehlte bisher eine umfassende, integrative Forschungskonzeption, aus der eine fundierte Entscheidungsunterstützung abgeleitet werden kann. Ziel der Arbeit war es, eine solche Konzeption zu entwickeln und beispielhaft im bayerischen Alpenraum anzuwenden.

Fragestellungen

Zunächst stellte sich die Frage, inwieweit waldbauliche Eingriffe dazu geeignet sind, die Resistenz und Elastizität von reinen Fichtenbeständen in der Bergmischwaldstufe zu erhöhen.

Nachdem Holzerntemaßnahmen im Gebirge mit z.T. wesentlich höheren Kosten belastet sind als im Flachland, sollte weiterhin eruiert werden, ob sich waldbauliche Maßnahmen in den Beständen als finanziell vorteilhaft erweisen.

Forschungsansatz und Methoden

Um die genannten Fragestellungen zu beantworten, wurde ein triangulatorischer Ansatz verwendet. Das Untersuchungsobjekt „Reiner Fichtenbestand in der Bergmischwaldzone“ wurde mit drei unterschiedlichen Methodenkomplexen erschlossen, um zu möglichst fundierten Handlungsempfehlungen zu kommen.

Im ersten Schritt wurde eine leitfadengestützte Expertenbefragung unter verschiedenen Forstpraktikern mit Gebirgserfahrung durchgeführt (Revierleiter, Forstamtsleiter, Forsteinrichter, Schutzwaldsanierer, Waldbaureferenten). Sie wurden sowohl nach ihrer generellen Einschätzung der Situation in den Beständen gefragt als auch nach der von ihnen präferierten waldbaulichen Handlungsstrategie.

Im zweiten Schritt wurden nach einer umfassenden Literaturanalyse zur Stabilität von Fichtenbeständen waldbaulich behandelte und unbehandelte Fichtenreinbestände hinsichtlich

verschiedener Parameter von Resistenz und Elastizität verglichen. Der Vergleich wurde in drei verschiedenen Altersstufen (Jugendstadium, Wachstumsstadium und Reifestadium) als unechte Zeitreihe durchgeführt und an drei verschiedenen Orten (Ruhpolding, Oberammergau und Bad Tölz) wiederholt. Als Parameter für die Resistenz des Altbestandes wurden u.a. h/d-Verhältnis, Kronenlänge, Bekronungsgrad, Vitalität, Schäden und die Strukturparameter Durchmesserdifferenzierung sowie horizontale und vertikale Verteilung aufgenommen. Bei der Verjüngung als entscheidendem Kriterium für die Elastizität wurden u.a. die Parameter Dichte, Höhe und Mischung erhoben. Die vergleichenden Auswertungen zwischen den Flächen mit und ohne waldbaulicher Behandlung wurden varianzanalytisch durchgeführt. Zur Beurteilung der Verjüngungsdichte wurden noch zwei weitere Methoden eingesetzt. Zum einen die aus der Finanzwirtschaft stammende „Sharpe-Ratio“ (SHARPE 1964, 1966, 1994) und zum anderen die „Information-Gap Decision Theory“ (BEN-HAIM 2006).

Im dritten Schritt wurden die waldbaulichen Eingriffe auf ihre finanziellen Auswirkungen überprüft. Die vorher erhobenen Naturaldaten wurden zu Wuchsreihen zusammengesetzt, woraus zwei verschiedene Szenarien erstellt wurden. Beim Szenario „unbehandelt“ wurde außer der Kulturbegründung lediglich eine fiktive Ernte im Alter 100 unterstellt, beim Szenario „behandelt“ ging man zusätzlich von Durchforstungseingriffen in den Altern 40, 60 und 80 Jahren aus. Mit Methoden der Investitionsrechnung wurden die beiden Handlungsoptionen hinsichtlich ihrer finanziellen Vorteilhaftigkeit verglichen. Dabei wurde zusätzlich berücksichtigt, welche Auswirkungen sechs unterschiedlich teure Holzernteverfahren (Harvester, Kombiniert, Vollbaum, Schlepper, Seil bergauf und Seil bergab) auf diesen Vergleich haben.

Zentraler Bestandteil der finanziellen Beurteilung war die Berücksichtigung von Ausfallrisiken der Bestände aufgrund von Schneebruch, Windwurf oder anderen Kalamitäten. Zur Integration dieser Risiken in die Kalkulationen wurden die Methode der Monte-Carlo-Simulation, die $\mu - \sigma$ -Regel und die Methode der Stochastischen Dominanz erster und zweiter Ordnung eingesetzt.

Ergänzend wurde noch abgeschätzt, wie weit die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Fichtenbestandes durch eine Jungbestandspflege abgesenkt werden muss, damit sich Maßnahmen dieser Art rechnen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Studie können folgendermaßen zusammengefasst werden:

Schritt 1: Nahezu alle Befragten schätzten die reinen Fichtenbestände problematisch ein. Man sprach davon, dass schon in der Vergangenheit immer wieder Kalamitäten und Auflö-

sungstendenzen zu verzeichnen waren, vor allem aber wurde für die Zukunft progressiver Zerfall dieser Bestände prognostiziert. Für den Fall dass die Bestände nicht unterverjüngt sind, wenn der Altbestand ausfällt, wurde die Befürchtung geäußert, dass sich eine Wiederbestockung mit standortgerechten Baumarten als sehr schwierig darstellt. Als Zielsetzung für waldbauliche Maßnahmen in diesen Beständen wurde von der Hälfte der Befragten eine Stabilisierung und Strukturierung der Altbestände genannt. Die schwerpunktmäßige Zielsetzung lag aber bei allen Interviewpartnern in der Erzeugung eines gemischten, möglichst strukturierten Mischbestandes. Um diese Ziele zu erreichen, wurde eine große Bandbreite an Maßnahmen beschrieben.

Hinsichtlich Jungbestandspflegemaßnahmen herrschte Uneinigkeit. Ein Teil der Befragten hielt diese Maßnahmen in der reinen Fichte für unnötig und lediglich zur Erhaltung von ggf. vorhandenen Mischbaumarten angebracht. Ein anderer Teil hielt diese für sinnvoll, erklärte aber, dass diese aus Kostengründen oft unterlassen werden. Nur wenige beschrieben konkrete Maßnahmen.

Als Durchforstungsmaßnahmen wurden häufig Auslesedurchforstungen angeführt, wobei als Ausleseebäume in der Regel die stabilsten oder auch ungeschälten Elemente deklariert wurden. Teils hatten die beschriebenen Maßnahmen auch den Charakter einer Negativauslese, bei der die instabilsten Elemente entnommen werden sollten. Einige Befragte verzichteten generell auf Durchforstungen zugunsten früher radikaler Umbaumaßnahmen.

Für die Verjüngung wurde in den meisten Fällen der Femelschlag, z.T. verbunden mit einer Saumkomponente empfohlen. Weniger häufig wurden die genannten starken Umbaumaßnahmen beschrieben.

Schritt 2: Die Ergebnisse der naturalen Studie belegen, dass die Schlankheitsgrade der Bäume durch die relativ späten waldbaulichen Maßnahmen nur geringfügig verringert und die Bekronungsprozente nur in bescheidenem Umfang verbessert werden. Je früher die Maßnahmen ergriffen werden, desto intensiver sind die Reaktionen der Fichten. Je kontinuierlicher die Behandlung erfolgt, desto größer sind die Gesamteffekte. Behandelte Bestände weisen signifikant größere Anteile an sehr vitalen Fichten und deutlich kleinere Anteile an mäßig vitalen Fichten auf. Die gezielte Entnahme von geschälten Bäumen reduziert den Anteil dieser instabilen Bäume. Strukturverbesserungen sind in den Fichtenbeständen durch Eingriffe kaum zu erreichen, da die Struktur bereits verhältnismäßig divers ist. Für weiterreichende Strukturverbesserungen müssen die Bestände langfristig in Mischbestände umgewandelt werden.

Ein erster Schritt in Richtung Mischbestände kann durch die Eingriffe erreicht werden. Sie fördern das Ankommen von gemischter Verjüngung, obwohl Mischbaumarten im Altbestand spärlich vertreten sind. Die Elastizität der behandelten Bestände ist größer als die der unbehandelten, da hier die Dichte der Verjüngung größer ist und auch Pflanzen über eine Höhe von 20 cm hinaus vorhanden sind. Allerdings werden nur auf wenigen Parzellen bei den größeren Pflanzen Dichtewerte erreicht, die als Minimum zur Erhaltung der Schutzfunktion für nötig erachtet werden. Auch die Beurteilung der Verjüngungsdichte nach „Sharpe-Ratio“ und „Information-Gap-Theory“ dokumentieren, dass nahezu keinerlei Robustheit gegenüber künftigen negativen Einflussfaktoren gegeben ist.

Schritt 3: Wenn bei der Holzernte im Gebirge aufgrund einfachen Geländes die Verfahren „Harvester“, „Kombiniert“ oder „Schlepper“ eingesetzt werden können, dann sind Eingriffe in die Fichtenbestände generell als finanziell vorteilhaft einzustufen. Der Vorteil waldbaulicher Maßnahmen steigt, wenn man den frühen Zahlungseingang von Vornutzungen berücksichtigt, die Entstehung kostenloser Naturverjüngung mit einkalkuliert, vor allem aber, wenn man die Ausfallrisiken der Bestände ins Kalkül zieht. Obwohl bei behandelten und unbehandelten Beständen mit den gleichen Überlebenswahrscheinlichkeiten gerechnet werden musste, schneiden die behandelten Bestände bei Berücksichtigung der Risiken besser ab. Dies liegt an der höheren Streuung der Kapitalwerte in den unbehandelten Szenarien und an der Tatsache, dass bereits entnommene Bäume keiner Kalamität mehr zum Opfer fallen können. Unter Berücksichtigung dieser Effekte schneiden die behandelten Bestände auch beim Einsatz der teureren Verfahren „Vollbaum“, „Seil berauf“ und „Seil bergab“ finanziell günstiger ab als die unbehandelten.

Die Amortisationskalkulation für eine Jungbestandspflege in den Fichtenbeständen ergab, dass je nach Ernteverfahren und Risikoaversion des Entscheiders eine Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit in Höhe von 1/6 bis maximal 1/3 notwendig ist, damit sich die Jugendpflegemaßnahmen rechnen. Dieser Wert scheint nach einer groben Abschätzung anhand von Literaturwerten nicht unerreichbar.

Schlussfolgerungen

Waldbauliche Eingriffe in reine Fichtenbestände der Bergmischwaldstufe sind unabdingbar, um langfristig die Schutzfunktion dieser Bestände zu erhalten. In mittelalten und älteren Beständen ist das ausschlaggebende Argument für die Eingriffe jedoch nicht die Stabilisierung des Altbestandes, sondern die Erzeugung einer gemischten Verjüngung für einen schutzwirksamen Folgebestand. Eine nennenswerte Erhöhung der Resistenz kann nur erreicht werden, wenn man sehr früh in die Bestände eingreift. Ausführliche Literaturanalysen

haben gezeigt, dass hier die Jungbestandspflege eine entscheidende Rolle spielen kann. Durchforstungsbedingte Vitalitätssteigerungen der Fichten könnten allerdings eine große Bedeutung im Zusammenhang mit der Klimaveränderung haben.

Ist die Zielsetzung der waldbaulichen Eingriffe eine gemischte Verjüngung mit standortsgerechten Baumarten, muss folgendes beachtet werden: Es kann zwar auch bei spärlicher Anzahl von Mischbaumarten im Altbestand eine gemischte Verjüngung erzeugt werden, aber deren Dichte ist für die Erhaltung der Schutzfunktion teilweise nicht ausreichend. Außerdem muss damit gerechnet werden, dass die genetische Basis aufgrund der geringen Samenbaumzahl eingeschränkt ist. Es wird deshalb empfohlen, zusätzlich zur Naturverjüngung Ergänzungspflanzungen durchzuführen. Radikale Umbaumaßnahmen sind als Verjüngungsverfahren nicht zielführend, da sie die Stabilität des Altbestandes massiv herabsetzen und das Wachstum von Konkurrenzvegetation stark anregen. Besser geeignet sind beispielsweise Femelhiebe, bei denen vor größeren Lichtgaben Vorausverjüngung gesammelt wird. Sämtliche Verjüngungsbemühungen können jedoch nur erfolgreich sein, wenn der im Bayerischen Waldgesetz seit 2005 verankerte Grundsatz „Wald vor Wild“ konsequent umgesetzt wird und überhöhte Wildbestände so reduziert werden, dass Mischbaumarten eine Chance haben, aufzuwachsen.

Die vordergründig defizitären Maßnahmen haben sich im Rahmen einer umfassenden finanziellen Bewertung in nahezu allen Fällen als vorteilhaft erwiesen. Fundierte finanzielle Untersuchungen, welche auch die Erkenntnisse natürlicher Studien berücksichtigen, können also zu ganz anderen Erkenntnissen kommen als einseitige, ausgabenminimierende Kalkulationen. Im vorliegenden Fall macht es demnach keinen Sinn, aufgrund kurzfristigen Sparsamkeitsdenkens langfristig wichtige und rentable Maßnahmen zur Erhaltung der Schutzfunktion zu unterlassen.

Eine Aufgabe der Bewirtschaftung in der Bergmischwaldzone, wie sie gelegentlich gefordert wird, wäre kontraproduktiv. So würde man die Chance nicht wahrnehmen, reine Fichtenbestände zügig in naturnahe Bergmischwälder umzubauen. Die Schutzfunktion der Wälder würde fahrlässigerweise beeinträchtigt und gleichzeitig würden große Nutzungspotenziale nicht ausgeschöpft, welche nicht nur Gewinn bringen, sondern auch große Mengen CO₂ binden und fossile Energieträger substituieren können.

Ein wichtiges Fazit ist auch, dass es in entscheidungsorientierten Fragestellungen waldbaulicher Forschung von großem Vorteil ist, wenn unterschiedliche Methoden zur Beantwortung der Fragen herangezogen werden. Durch die Kombination sozioempirischer, naturwissen-

schaftlicher und finanzwissenschaftlicher Methoden im Rahmen einer Triangulation konnte eine solide Grundlage zur Entscheidungsfindung gelegt werden.

Summary

There are many pure spruce stands in the montane mixed forest zone of the Bavarian Alps which are man-made and are considered to be very unstable. In the Bavarian State Forests alone, such stands occupy an area of about 30 000 hectares. These spruce stands mainly cause problems in the area of protection forests, where resistance and elasticity of the forest stand play a major role in alleviating the effects of natural hazard.

In the long run forests are most stable and provide best protection, if not only the mature stand is resistant against snow, storm and insects but there is also an advanced tree regeneration which can lead to quick reforestation after the occurrence of natural hazards.

Several questions with regards to adequate treatment of pure spruce stands in the montane mixed forest zone in order to increase stability are still unanswered. Up to now there was no integrative research concept to provide guidelines for decision making. The aim of this paper was to create such a concept and furthermore to apply it to stands in the Bavarian Alps.

Questions

First, the question was to which extent silvicultural measures are appropriate to increase resistance and elasticity of pure spruce stands in the montane mixed forest zone.

As harvesting timber in the mountains partly induces much higher costs than logging operations in flat areas, it furthermore should be elicited whether silvicultural measures carried out in those stands do generate a financial benefit.

Approach to Research and Methods

In order to answer those questions a triangulation approach has been applied. The subject matter "Pure spruce stands in the montane mixed forest zone" has been analyzed with three different methods in order to establish a recommended course of action which is based on facts.

The first step was a semi-structured interview with different forestry experts. All of those experts do have silvicultural experience in the mountains (e. g. district forest officers, district superintendents, forest surveyors, restructuring specialists for protection forests, silvicultural consultants). They have all been questioned about their general estimation of the situation in

the stands as well as about their opinion on the preferred silvicultural measures to be implemented.

The second step was to compare treated and untreated pure spruce stands according to various parameters of resistance and elasticity. The comparison followed a detailed analysis of literature which addressed the stability of spruce stands. It has been carried out in three different age groups (development stage, growth stage and mature stage) in the form of a space-for-time substitution and it has been repeated on three different locations (Ruhpolding, Oberammergau and Bad Tölz). The following parameters have been taken in order to determine the resistance of the mature stand: h/d-ratio, crown length, crown length ratio, vitality, damages and the structural parameters differentiation of diameter as well as the horizontal and vertical distribution. In case of advanced regeneration which is the pivotal criterion for elasticity the parameters density, height and mixture have been taken. The comparative evaluation of treated and untreated plots has been carried out according to variance analysis. In order to evaluate the density of advanced regeneration another two methods have been applied: First, the Sharpe-Ratio (Sharpe 1964, 1966, 1994), which is usually used in financial management. Second, the Information-Gap Decision Theory (Ben-Haim 2006).

The third step was to check the financial impacts of the silvicultural measures. Growth series have been composed of the previously collected natural data. Using these data two different scenarios have been created: In scenario number one "untreated plots" apart from stand establishment only a virtual logging of trees at the age of 100 has been assumed. In scenario number 2 "treated plots" it has also been assumed that thinning measures are carried out in the stands at the age of 40, 60 and 80. Both options have been compared with methods of investment appraisal in order to assess their financial advantages. In addition six different harvesting methods ("Harvester", "Combined", "Full-Tree Logging", "Skidder", "Cable Yarding Uphill" and "Cable Yarding Downhill") and their effects on the comparison, due to their differing costs have been taken into account.

Taking contingency risks, caused by snow and wind breakage or any other adverse conditions, into account has been a key feature of this financial assessment. In order to integrate those risks into the calculation the Monte Carlo simulation and the $\mu - \sigma$ -rule and the method of first and second order of stochastic dominance have been implemented.

Additionally it has been estimated to which extent the probability of failure in a spruce stand has to be reduced by applying tending measures in young stands in order to gain a financial benefit from those methods.

Results

Step 1: Almost all of the interviewees agreed that pure spruce stands can be problematic. The experts pointed out that calamities and tendencies to collapse have already been diagnosed in these stands in the past. Above all they predict a progressive collapse of those stands. In case those stands are not advanced regenerated when mature stands die back, the experts fear that regeneration with suitable tree species for these sites may become very difficult. Half of the interviewees mentioned that a target of silvicultural measures in those stands is the stabilization and structuring of mature stands. However, all of the interviewees focused on the creation of a highly structured mixed stand with a variety of different tree species. In order to achieve these goals a huge band width of measures has been described.

Regarding tending operations the experts had different opinions. Some of the respondents considered this measure to be unnecessary in case of pure spruce stands. They further mentioned that it might be appropriate in order to conserve some already existing mixed tree species. The other group of interviewees considered these measures to be valuable; however, they also explained that often these interventions are not carried out due to the high costs they induce. Only few of the interviewees described precise methods.

As a favoured thinning method selective thinnings have been mentioned. Usually the most stable and unstripped trees have been declared as potential crop trees. Partly the described measures do show characteristics of a negative selection. In this case the most unstable elements are to be removed. Some of the interviewees did not favour thinnings at all. They advocated radical conversion methods at an early stage.

For regeneration cuttings most of the interviewees recommended an irregular shelterwood system partly combined with strip cutting. Radical conversion methods have only been described by few respondents.

Step 2: The results of the natural study prove that silvicultural measures which are applied relatively late, only slightly decrease the slenderness ratios and slightly improve the crown length ratio of the trees. The reaction of spruce stands is most intense the earlier appropriate measures are taken. The overall effects are best if treatment is carried out on a regular basis. Treated stands show significantly higher levels of very vital spruces and lower levels of less vital spruces. The selective removal of bark stripped trees decreases the amount of unstable trees. However, hardly any structural improvement can be achieved by treatment of spruce stands, as the structure is already very diverse. In order to achieve sustainable structural improvements, a long-term conversion to mixed stands is necessary.

Silvicultural interventions are the first step to convert the spruce stands to mixed stands. They foster advanced mixed regeneration, although mixed tree species are scarce in mature stands. Treated stands show higher elasticity than non-treated stands, as density of advanced regeneration is higher and there are also plants growing which reach a height of more than 20 cm (7.82 inch). But only in a few research plots density levels were reached which are considered to be high enough in order to maintain a protective function. Moreover the assessment of regeneration density according to Sharpe Ratio and Information-Gap-Theory proves that the regeneration is by no means robust enough to resist negative influences in the future.

Step 3: If the terrain is accessible enough to use one of the following harvesting methods - "Harvester", "Combined" or "Skidder" - treatment of spruce stands can generally be considered as profitable in financial terms. The advantage of silvicultural measures increases if one takes into account the profit of early income, the development of natural regeneration in treated stands which does not cause any additional costs and above all if one calculates contingency risks. If the risks are taken into account treated stands perform better than untreated stands, even if expensive logging methods like "Full-Tree Logging", "Cable Yarding Uphill" and "Cable Yarding Downhill" are used for harvesting. This is the case although the same survival probability for treated as well as for untreated stands had to be anticipated. The reasons for better performance of treated stands are an increased scattering of net present value in untreated stands and the fact that trees that are already taken out of the stand will no longer be prone to future calamities.

The amortization calculation for tending operations in young stands showed that - according to the chosen harvesting method and risk aversion of the decision maker - a failure probability decreased by a maximum factor of 1/6 to 1/3 is necessary to gain a profit from treatment of young plantations. According to previously published studies these values are not out of reach.

Conclusion

In order to maintain a protective function, silvicultural measures applied to pure spruce stands in the montane mixed forest zones are indispensable. In medium aged and mature stands the key factor for treatment is not the stabilisation of the mature stand but the creation of a mixed regeneration in order to achieve a future protective function. A noteworthy increase of resistance can only be achieved if treatment is applied to the stands in early stages. Comprehensive literature analyses showed that tending of young stands may

play a decisive role. However, the increased vitality of spruces which is a result of thinning measures could play an important role regarding climate change.

If the silvicultural measures are targeted towards a mixed regeneration with suitable tree species, the following has to be taken into account: A mixed regeneration can be achieved even if mixed tree species only grow scarcely in mature stands, however the density of regeneration is partly too marginal in order to maintain a protective function. It has to be considered that the genetic base is limited due to the marginal number of seed trees. As a complementary measure to advanced natural regeneration it is recommended to carry out additional plantings. Radical conversion methods are no preferred option for regeneration, as those methods significantly diminish the stability of mature stands and foster growth of competitive vegetation. A more suitable method is the regeneration via group selections where advanced regeneration is collected before an increased amount of light is given. However, all attempts towards successful regeneration can only be fruitful if the tenet "forest over game" (Bayerisches Waldgesetz [Bavarian Law of Forestry] 2005) will be strictly executed and thus an excessive population of game will be reduced in order to give mixed tree species a chance to survive.

At first sight the silvicultural measures seemed to generate a deficit, however, after comprehensive financial assessments had been carried out they proved to be financially favourable in almost all cases. Thus sound financial assessments can lead to completely different results than calculations that only take expenses into account. Yet, it is important to include the results of natural studies when carrying out financial assessments. As a conclusion for this survey it has to be mentioned that it does not make sense to abandon important and profitable measures which can support the protective function for reasons of economy.

Sometimes it is requested to dismiss forest management in the montane mixed forest zone. This, however, would be counterproductive. It meant that one would forgoe the chance to quickly convert pure spruce stands into mixed close-to-nature forests. The protective functions of forests would negligently be negatively influenced and ample potential would not be utilized. Not only can ample potential earn profits, above all it can tie up vast amounts of carbon dioxide and substitute fossil fuels.

Another noteworthy result of this study is the fact that an important advantage in silvicultural research can be gained if various methods are taken into account in order to assess certain measures. The combination of social-empiric, ecologic and economic methods within a triangulation approach provided a sound base to support decisions.

9 Literaturverzeichnis

Abkürzungen häufig verwendeter Zeitschriften:

Allg. Forst- u. J.- Ztg.	Allgemeine Forst- und Jagdzeitung
Ann. For. Sci.	Annals of Forest Science
Can. J. For. Res.	Canadian Journal of Forest Research
Eur. J. Forest. Res.	European Journal of Forest Research
For. Ecol. Manage.	Forest Ecology and Management
Forstw. Cbl.	Forstwissenschaftliches Centralblatt
Schweiz. Z. Forstwes.	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

- Abetz, P. (1975): Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen, *AFZ*, 30, 666-667
- Abetz, P. (1976): Beiträge zum Baumwachstum: Der h/d-Wert - mehr als ein Schlankheitsgrad!, *Der Forst- und Holzwirt*, 31/19, 389-393
- Abetz, P. (1991): Sturmschäden aus waldwachstumskundlicher Sicht, *AFZ*, 12/1991, 627-629
- Abetz, P. (1992): zu: Sturmschäden in einem Fichtenbestand der Münchener Schotterebene, *AFZ*, 1/1992, 49
- aid Infodienst (Hrsg.), (2003): Forstliches Vermehrungsgut - Informationen für die Praxis, 1164/2003, 58 S.
- Ammann, P. (1999): Analyse unbehandelter Jungwaldbestände als Grundlage für neue Pflegekonzepte, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 150/12, 460-470
- Ammer, C. (1996a): Konkurrenz um Licht - zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald, *Forstliche Forschungsberichte München*, 158, 198 S.
- Ammer, C. (1996b): Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps, *For. Ecol. Manage.*, 88, 43-53
- Ammer, C. (1998): Nur eine unter vielen - Die Fichte in der natürlichen Verjüngung des Bergmischwaldes, *AFZ-Der Wald*, 396-399
- Ammer, C. (2000): Untersuchungen zum Einfluß von Fichtenaltbeständen auf die Entwicklung junger Buchen, *Berichte aus der Holz- und Forstwirtschaft*, 185 S., Shaker, Aachen
- Ammer, C. (2003): Zum Einfluss waldbaulicher Maßnahmen auf die Naturverjüngung eines Bergmischwaldes, *BFW-Berichte*, 130, 67-78
- Ammer, C. (2009): Plädoyer für eine Neuorientierung des Jagens, *AFZ-Der Wald*, 3/2009, 146-149
- Ammer, C., Stimm, B. (1996), *Waldbau und Biodiversität im Bergmischwald - eine Fallstudie -*, in: Müller-Starck (Hrsg.): *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*, 114-134, Ecomed, Landsberg
- 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, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 176/5, 85-94
- Ammer, U. (1989): Der Wald im bayerischen Alpenraum - Situation, Tendenzen, Prognosen, *Informationsbericht* 4/89, Bay. Landesamt f. Wasserwirtschaft, 11-28
- Ammer, U. (1990): Auswirkungen des Bestockungswandels und der Waldschäden auf die Schutzfunktion des Bergwaldes gegenüber Schneebewegungen, in: *Zustand und Gefährdung des Bergwaldes, Rundgespräch der Kommission für Ökologie der Bay. Akademie der Wissenschaften*, 102-111
- Ammer, U., Mössmer, E.-M., Schirmer, R. (1985): Vitalität und Schutzbefähigung von Bergwaldbeständen im Hinblick auf das Waldsterben, *Forstw. Cbl.*, 104/2, 122-137
- Ammer U., Detsch R., Seitz R. (2000): Untersuchungen zur Bedeutung von Nutzungs- und Pflegeeingriffen zur Aufrechterhaltung der landeskulturellen Leistungen von Bergwaldbeständen im Alpenraum, *Internationales Symposium Interpraevent 2000 - Villach/Österreich, Tagungspublikation*, 2, 5-16
- Ammon, W. (1926): Bestandenserziehung und Plenterwald, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 77 3/4, 65-76
- Ammon, W. (1927): Einige Plenterfragen, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 78/5+6/7, 144-153, 176-183
- Ammon, W. (1937): Das Plenterprinzip in der Schweizerischen Forstwirtschaft, *Folgerungen aus 30 Jahren Bewirtschaftung von Plenterwäldern*, 108 S., Haupt, Bern, Leipzig

- Ancelin, P., Courbaud, B., Fourcaud T. (2004): Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands, *For. Ecol. Manage.*, 203, 101-121
- Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft (Landesgruppe Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2001): Behandlung von Fichten-Reinbeständen. Entwicklung von Altersklassenwald- zu Dauerwaldstrukturen, Merkblatt
- Assmann, E. (1961): Waldertragskunde, Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen, 490 S., BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien
- Assmann, E., Franz, F. (1963): Vorläufige Fichtenertragstafel von Bayern, Institut für Ertragskunde der Forstl. Versuchsanstalt, 104 S., München
- Atteslander, P. (1995): Methoden der empirischen Sozialforschung, 8. bearbeitete Auflage, 418 S., Walter de Gruyter, Berlin, New York
- Atteslander, P. (2006): Methoden der empirischen Sozialforschung, 11. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 357 S., Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Bachmann, M. (1997): Zum Einfluß von Konkurrenz auf das Einzelbaumwachstum in Fichten/Tannen/Buchen-Bergwäldern, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 168 6/7, 127-130
- Bachmann, M. (1998): Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchung in Bergmischwäldern, *Forstliche Forschungsberichte München*, 171, 235 S.
- Bachmann, P., Dvorak, L. (2005): Sturmschäden in Abhängigkeit vom Bestandesaufbau in einem Plenterwaldgebiet, in: Indermühle, M., Raetz P., Volz, R., LOTHAR. Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6, Umwelt-Materialien Nr. 184, 51-59, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Bachofen, H., Zingg, A. (2000): Erhaltung und Verbesserung der Stabilität im Gebirgsfichtenwald, *Bündnerwald*, 53, 67-72
- Bachofen, H., Zingg, A. (2001): Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands, *For. Ecol. Manage.*, 145, 137-149
- Bachofen, H., Zingg, A. (2005): Auf dem Weg zum Gebirgsplenterwald: Kurzeffekte von Durchforstungen auf die Struktur subalpiner Fichtenwälder, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 156, 456-466
- Backhaus, K., Erichson B., Plinke, W., Weiber, R. (2003): Multivariate Analysemethoden, Eine anwendungsorientierte Einführung, 10. neu bearb. und erw. Aufl. , 818 S., Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Backmann, G. (1943): Wachstum und organische Zeit, *Bios*, 15, 195 S., Barth, Leipzig
- Baier, R., Göttlein, A. (2006a): Verjüngung der Fichte im naturnahen Bergmischwald und auf Schutzwald-Sanierungsflächen, *AFZ-Der Wald*, 15/2006, 820-823
- Baier, R., Göttlein, A. (2006b): Empfehlungen zur Verjüngung labiler Schutzwälder, *AFZ-Der Wald*, 15/2006, 824-826
- Baier, R., Meyer, J., Göttlein, A. (2007a): Regeneration niches of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) saplings in small canopy gaps in mixed mountain forests of the Bavarian Limestone Alps, *Eur. J. Forest. Res.*, 126, 11-22
- Baier, R., Bockstahler, T., Göttlein, A. (2007b): Ein Klassifikationsverfahren für Schutzwälder als Planungs- und Kontrollinstrument für das Schutzwaldmanagement, Vortrag auf dem 11. Statusseminar des Kuratoriums für Forstliche Forschung, 2007, Freising
- Baker, F.S. (1950): Principles of silviculture, The American Forestry Series, 414 S., McGraw-Hill, Inc., New York
- Balsiger, L. (1925): Der Plenterwald und seine Bedeutung für die Forstwirtschaft der Gegenwart, Beiheft zu den Zeitschriften des schweizerischen Forstvereins, 1, 107 S., Böhler, Bern
- Bamberg, G., Coenenberg, A.G. (2006): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre, 13. überarb. Auflage, 330 S., Vahlen, München
- Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., Spurr, S.H. (1998): Forest Ecology, 4th Edition, 774 S., John Wiley & Sons, Inc., New York
- Bauer, A. (2007): Mündliche Mitteilung während des Seminars der Arbeitsgruppe "Gebirgswald und Klimawandel" am Zentrum Wald-Forst-Holz Freising
- Bauer, F.W. (1962), *Waldbau als Wissenschaft*, Band 1: Waldbauliche Wissenschaftslehre und Grundlegung, 183 S., BLV, München, Basel, Wien
- Bauer, M.L., Fischer, A., El Kateb, H., Mosandl, R. (2008): Verjüngungsdynamik nach großflächigem Borkenkäferbefall in den Fichtenwäldern der Hochlagen des Bayerischen Waldes, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 179 2/3, 43-51
- Bavier, B. (1910): Forstliche Preisfrage: Welches sind die Ursachen des so häufigen Fehlens der natürlichen Verjüngung in alten Fichtenbeständen hoher Lagen und wie kann dieser ungünstige Zustand beseitigt werden: Wie sind solche Bestände inskünftig zu behandeln?, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 61/5+6, 145-201/227-236

- Bay. Forstverwaltung (2007): Pflanzung im Schutzwald, Hinweise für die Praxis, 26 S. + Anlagen
- Bay. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2001a): Terrestrische Kronenzustandserhebung, Tips und Hilfen
- Bay. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2001b): Die Regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns, Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 32, 99 S.
- Bay. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2005): Exkursion der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe, Unterlagen zur Exkursion vom 21.08.-24.08.2005
- Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1982): Grundsätze für die Waldbehandlung im bayerischen Hochgebirge, München, 72 S.
- Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1997): Handbuch zur Schutzwaldsanierung im Bayerischen Alpenraum, 233 S., München
- Bay. Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2006): Forstliche Gutachten zur Situation der Waldverjüngung 2006, 56 S.
- Bay. Staatsregierung (2008): Waldgesetz für Bayern in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 2005, download von: http://www.verwaltung.bayern.de/Gesamtliste-.115/index.htm?purl=http://by.juris.de/by/WaldG_BY_2005_rahmen.htm am 05.07.2008 um 21:48 Uhr
- BAYSF (2005), Betriebskonzept Hochgebirge, , 6 S.
- BAYSF (2008): Vorstellung der neuen Fichten-Pflegerichtlinie, am 19.06.2008 in Markt am Inn
- Bazzaz, F.A., Grace, J.(Hrsg.) (1997): Plant resource allocation, 303 S., Academic Press, San Diego, London
- Bazzigher, G., Schmid, P. (1969): Sturmschaden und Fäule, Schweiz. Z. Forstwes., 120, 521-535
- Bebi, P., Grêt-Regamey, A., Rhyner, J., Amman, W.J. (2004): Risikobasierte Schutzwaldstrategie, Forum für Wissen , 79-86
- Bebi, P., Grêt-Regamey, A., Rhyner, J., Amman, W.J. (2005): Den Schutzwald nach Risikokriterien bewirtschaften, Wald und Holz, 4/05, 53-56
- Bebi, P., Kienast, F., Schönenberger, W. (2001): Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests' dynamics and protective function, For. Ecol. Manage., 145, 3-14
- Begon, M., Harper J.L., Townsend, C.R. (1991): Ökologie, Birkhäuser, Basel, 1024 S.
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper J.L. (2006): Ecology, From Individuals to Ecosystems, 4th Edition, Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Carlton, 738 S.
- Behm, A. (2004): Stabilität fängt bei der Wurzel an, LWF Aktuell, 46, 29-30
- Beinhofer, B. (2007): Zum Einfluß von Risiko auf den optimalen Zieldurchmesser der Fichte, Forstarchiv, 78, 117-124
- Beinhofer, B. (2008): Zum optimalen Einschlagszeitpunkt von Fichtenbeständen, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 179/7, 121-132
- Ben-Haim, Y. (2005): Value-at-risk with info-gap uncertainty, Journal of Risk Finance, 6/5, 388-403
- Ben-Haim, Y. (2006): Info-Gap Decision Theory, Decisions Under Severe Uncertainty, Second Edition, 368 S., Academic Press, Oxford, Amsterdam
- Benítez, P.C., Kuosmanen, T., Olschewski, R., Kooten, G.C.v. (2006): Conservation Payments under Risk: a Stochastic Dominance Approach, American Journal of Agricultural Economics, 88, 1-15
- Bernhart, A. (1988): Waldentwicklung, Verjüngung und Wildverbiß im oberbayerischen Bergwald, Schweiz. Z. Forstwes., 139, 463-484
- Bernhart, A. (1990): Entwicklung der Bestockung im Bergwald Oberbayerns seit 1860, in: Zustand und Gefährdung des Bergwaldes, Rundgespräch der Kommission für Ökologie der Bay. Akademie der Wissenschaften, 19-29
- Bernoulli, D. (1738): Specimen theoriae novae de mensura sortis, in: Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, 175-192, Deutsche Übersetzung: Kruschwitz, L., Kruschwitz, P., Entwurf einer neuen Theorie zur Bewertung von Lotterien, Die Betriebswirtschaft, 56, 1996, 733-742, Englische Übersetzung: Sommer, L., Exposition of an new theory on the measurement of risk, Econometrica, 22, 1954, 23-36
- Biging, G.S., Dobbertin, M. (1992): A Comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees, Forest Science, 38, 695-720
- Biging, G.S., Dobbertin, M. (1995): Evaluation of Competition Indices in Individual Tree Growth, Forest Science, 41, 360-377
- Biolley, H. (1887): Quelques réflexions sur le jardinage à propos des publications de M. Gurnaud, Schweiz. Z. Forstwes., 38, 189-192

- Biolley, H. (1920): L'Aménagement des Forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle, 91 S., Attinger, Paris, Neuchatel
- Biolley, H. (1921): Eclaircie "par le haut" et éclaircie jadinatoire, *Journal forestier Suisse*, 72 10/11, 181-186
- Biolley, H. (1922): Die Forsteinrichtung auf der Grundlage der Erfahrung und insbesondere das Kontrollverfahren, 72 S. +Anhang, Attinger, Paris, Neuchatel
- Binder, F. (2007a): Was bedeutet der Klimawandel für den Bergwald?, "Vortrag auf dem 5. Schutzwaldsymposium: "Schutzwaldmanagement - Zukunftsvorsorge für den Alpenraum", am 14.09.2007 in Garmisch-Partenkirchen"
- Binder, F. (2007b): Naturgefahren auf dem Vormarsch. Die Zeit drängt, um unsere Schutzwälder auf die Veränderungen vorzubereiten, *LWF Aktuell*, 60, 27-29
- Binder, F., Bauer, C. (2006): Der Schutzwald im Alpenraum - was fordert er von den Forstleuten?, *AFZ-Der Wald*, 18/2006, 986-988
- Bischoff, N. (1987): Pflege des Gebirgswaldes. Leitfaden für die Begründung und forstliche Nutzung von Gebirgswäldern Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, 379 S., EDMZ, Bern
- Bitter, A.W., Schönbach, C. (2004): Development of a GIS-aided management simulation model as a support for planning in the forest enterprise, in: Fürst et al. (Hrsg.): Sustainable Methods and Ecological Processes of a Conversion of Pure Norway Spruce and Scots Pine Stands into Ecologically Adapted Mixed Stands, *Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt*, 20, 235-244
- Blackburn, P., Petty, J.A. (1988): Theoretical Calculations of the Influence of Spacing on Stand Stability, *Forestry*, 61/3, 235-244
- Blackwell, P.G., Rennolls, K., Coutts M.P. (1990): A root anchorage model for shallowly rooted Sitka spruce, *Forestry*, 63, 73-91
- Bockstahler, T. (2006): Ein Verfahren zur Klassifikation von Schutzwäldern auf Hauptdolomitstandorten der Bayerischen Alpen, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München, 142 S.
- Bohdanecký, J. (1890): Statistisch-topographische und forstliche Beschreibung der Karl Fürst zu Schwarzenberg'schen Herrschaft Worlik (Böhmen)., *Vereinsschrift für Forst-, Jagd-, und Naturkunde*, 1, 3-89, zit.n. Slodiacak 1995
- Bohdanecký, J. (1926): Zur Frage der Erziehung junger Fichtenbestände (posthum veröffentlicht, datiert auf 1917): *Forstw. Cbl.*, 1.Novemberheft
- Bolkenius, D. (2001): Zur Wurzel Ausbildung von Fichte (*Picea abies* L. [Karst]) und Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in gleichaltrigen und ungleichaltrigen Beständen, *Freiburger Forstliche Forschung Berichte*, 35, 155 S.
- Bolkenius, D. (2003): Wurzel Ausbildung älterer Fichten und Tannen, *AFZ-Der Wald*, 58, 124-126
- Bolte, A., Rahmann, T., Kuhr, M., Spanuth, P., Murach, D., Gadow, K.v. (2003): Beziehungen zwischen Baumdimension und Wurzelstruktur in Fichten-Buchenmischbeständen, in: Berliner Forsten (Hrsg.): Forstwirtschaft im Ballungsraum. Bericht der Jahrestagung 2002 der Sektion Waldbau im DVFF. , 85-96, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
- Bolte, A., Rahmann, T., Kuhr, M., Spanuth, P., Murach, D., Gadow, K.v. (2004): Relationships between tree dimension and coarse root biomass in mixed stands of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.): *Plant and Soil*, 264, 1-11
- Borchers, J. (1997), Umsatzsteuer im Forstbetrieb - Wechsel zur Regelbesteuerung kann sich lohnen, *AFZ-Der Wald*, 3/1997, 141-144
- Borchert, H., Kölling, C. (2004): "Brotbaum" Fichte besonders gefährdet. Waldbauliche Anpassung der Wälder an den Klimawandel jetzt beginnen, *LWF Aktuell*, 43, 28-30
- Borggreve, B. (1891): Die Holzzucht, Ein Grundriß für Unterricht und Wirtschaft, 2. verbesserte und sehr vermehrte Auflage, 363 S. +Anhang, Parey, Berlin
- Bortz, J. (1993): Lehrbuch der Statistik: Für Sozialwissenschaftler, 4. Aufl., 753 S., Springer, Berlin
- Bosshard (1967): Erhebungen über die Schäden der Winterstürme 1967, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 118/12, 806-820
- Bräker, O.U., Bachofen, H., Lässig, R. (1996): Koordiniertes Programm "Gruppenplenterung". Forschungsplan zum langfristigen Programm, Download von: www.wsl.ch/forest/waldman/grupplent/welcome-de.ehtml am 25.10.2007 16:18 Uhr
- Bräker, O.U., Baumann, E., (2002): Transforming unmanaged dense and uniform Alpine Norway spruce forests into heterogeneous, open stands, Poster auf der 6. Internationalen Konferenz für Dendrochronologie "Dendrochronology, Environmental Change and Human History" Québec City, 22.-27. August 2002

- Brang, P. (2001): Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps, *For. Ecol. Manage.*, 145, 107-119
- Brang, P. (2002): Zustand des Schutzwaldes in der Schweiz - die Sicht eines Forschers., in: Eggenberger, P. (Hrsg.) 4. Bergwaldkonferenz zum Bergwaldprotokoll der Alpenkonvention, 27.-29. Mai 2002, Grainau, Tagungsband, 27-31, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten München
- Brang, P., Duc, P. (2002): Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 153/6, 219-227
- Brang, P., Schönenberger, W., Bachofen, H., Zingg, A., Wehrli, A. (2004): Schutzwalddynamik unter Störungen und Eingriffen: Auf dem Weg zu einer systemischen Sicht, *Forum für Wissen*, 55-66
- Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.-J., Wasser, B. (2006): Management of protection forests in the European Alps: an overview, *Forest Snow and Landscape Research*, 80/1, 23-44
- Brang, P., Hallenbarter, D. (2007): Bewertung von Handlungsstrategien in Schutzwäldern: ein integraler Modellansatz, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 158/6, 176-193
- Bräunig, R., Dieter, M. (1999), Waldumbau, Kalamitätsrisiken und finanzielle Erfolgskennzahlen, *Schriften zur Forstökonomie*, 18, 149 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Brosinger, F. (2008): Schutzwaldsanierung und Schutzwaldpflege in Bayern, in: Bayerischer Forstverein e.V., Jahresbericht 2007, 182-184
- Brüchert, F., Becker, G. (2000): Biegemechanische Eigenschaften von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) bei unterschiedlichen Wuchsbedingungen - Grundlagen zur Abschätzung der Stabilität von Bäumen gegenüber mechanischen Belastungen durch Sturm und Schnee, *Forstarchiv*, 71, 102-111
- Brüchert, F., Becker, G., Speck, T. (2000): The mechanics of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst]: mechanical properties of standing trees from different thinning regimes, *For. Ecol. Manage.*, 135, 45-62
- Brunner, A. (1993): Die Entwicklung von Bergmischwaldkulturen in den Chiemgauer Alpen und eine Methodenstudie zur ökologischen Lichtmessung im Wald, *Forstliche Forschungsberichte München*, 128, 262 S.
- Bülow, G. von (1962): Die Sudwälder von Reichenhall, *Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*, 33, 316 S.
- Büsgen, M., Münch, E. (1927): *Waldbäume*, 3. Aufl., 426 S., Gustav Fischer, Jena
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, 180 S., Bonifatius, Paderborn
- Buongiorno, J. (2001): Quantifying the implications of transformation from even to uneven-aged forest stands, *For. Ecol. Manage.*, 151, 121-132
- Buongiorno, J. (2008), Long-term effects of eliminating illegal logging on the world of forest industries, Gastvortrag im Rahmen der Fachtagung "Linking Forest Inventory and Optimization", Freising, April 2008
- Burschel, P. (1981): Neue Erziehungskonzepte für Fichtenbestände, *AFZ*, 36, 1386-1396
- Burschel, P. (1990): Erfahrungen aus dem großen Sturm in Südost-England im Oktober 1987, *AFZ*, 37/38, 942
- Burschel, P., Schmaltz, J. (1965): Die Bedeutung des Lichtes für die Entwicklung junger Buchen, *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 136/9, 193-210
- Burschel, P., El Kateb, H., Huss, J., Mosandl, R. (1985): Die Verjüngung im Bergmischwald. Erste Ergebnisse einer Untersuchung in den ostbayerischen Kalkalpen, *Forstwiss. Cbl.*, 104, 65-100
- Burschel, P., Binder, F., El Kateb, H., Mosandl, R. (1990): Erkenntnisse zur Walderneuerung in den Bayerischen Alpen, in: Zustand und Gefährdung des Bergwaldes, Rundgespräch der Kommission für Ökologie der Bay. Akademie der Wissenschaften, 39-49
- Burschel, P., El Kateb, H., Mosandl, R. (1992): Experiments in mixed mountain forests in Bavaria, in: Kelty, M.J., Larson, B.C., Oliver, C.D. (Hrsg.): *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species-Forests*, 183-216, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Burschel, P., El Kateb, H., Ammer, C. (1993): Bergmischwald und Waldbau, *Der Wald*, 43, 264-269
- Burschel, P., Huss, J. (1997): *Grundriß des Waldbaus*, 487 S., Parey, München
- Cameron, A.D. (2002): Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality: a review, *Forestry*, 75/1, 25-35
- Campbell, D.T., Fiske, D.W. (1959), Convergent and Discriminant Validation by the Multitrait-Multimethod Matrix, *Psychological Bulletin*, 56, 81-105
- Clark, Ph.J., Evans, F.C. (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations, *Ecology*, 35/4, 445-453

- Clasen, C., Frischbier, N., Zehner, T. (2008): Ursachenanalyse zum Schadausmaß des Sturmes „Kyrill“ in Thüringen, *AFZ-Der Wald*, 14, 746-748
- Connell, J.H. (1978), Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. High diversity of trees and corals in maintained only in a nonequilibrium state, *Science*, 199, 1302-1310
- Courbaud, B., Goreaud, F., Dreyfus, Ph., Bonnet, F.R. (2001): Evaluating thinning strategies using a tree distance dependent growth model: some examples based on the CAPSIS software "uneven-aged spruce forests" module, *For. Ecol. Manage.*, 145, 15-28
- Coutts, M.P. (1983): Root architecture and tree stability, *Plant and Soil*, 71, 171-188
- Coutts, M.P., Lewis, G.J. (1983): When is the structural root system determined in Sitka Spruce?, *Plant and Soil*, 71, 155-160
- Coutts, M.P., Nielsen, C.C.N., Nicoll, B.C. (1999): The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers, *Plant and Soil*, 217, 1-15
- Cremer, K.W., Borough, C.J., McKinnell, F.H., Carter, P.R. (1982): Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 12/2, 244-268
- Cucchi, V., Meredieu, C., Stokes, A., Coligny, F., Suarez, J., Gardiner, B.A. (2005): Modelling the windthrow risk for simulated forest stands of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.), *For. Ecol. Manage.*, 213, 184-196
- Dahm, S. (1995): Bundeswaldinventur - Auswertungsmodelle und Vorschläge zur Effektivitätssteigerung, *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg*, 180, 144 S., Kommissionsverlag, Hamburg
- Dannecker, K. (1929): *Der Plenterwald einst und jetzt*, 145 S., Ulmer, Stuttgart
- De Crescenzo, L. (1990), *Geschichte der griechischen Philosophie. Von Sokrates bis Plotin*, 244 S., Diogenes, Zürich
- Deegen, P. (1994): Beitrag zur Analyse und Berechnung von Risiko am Einzelbestand, *Forstarchiv*, 65, 280-284
- Denzin, N.K. (1970), *The Research Act. A theoretical Introduction to sociological Methods*, 1. Aufl., 368 S., Aldine Publ. Co, Chicago
- Dhôte, J.-F. (2005): Implication of Forest Diversity in Resistance to Strong Winds, In: Scherer-Lorenzen et al. (Hrsg.), *Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems.*, *Ecological Studies*, 176, 291-307
- Diaci, J. (2002): Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps, *For. Ecol. Manage.*, 161, 27-38
- Diaci, J., Pisek, R., Boncina, A. (2005): Regeneration in experimental gaps of subalpine *Picea abies* forest in the Slovenian Alps, *Eur. J. Forest. Res.*, 124, 29-36
- Dieter, M. (1997): Berücksichtigung von Risiko bei forstbetrieblichen Entscheidungen, *Schriften zur Forstökonomie*, 16, 211 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Dieter, M. (2001): Land expectation values for spruce and beech calculated with Monte Carlo modelling techniques, *Forest Policy and Economics*, 2/2002, 157-166
- Dieter, M., Moog, M., Borchert, H. (2001): Considering Serious Hazards in Forest Management Decision-Making, in: Gadow, K.v., *Risk Analysis in Forest Management*, 201-240, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Dimitri, L., Keudell, W. (1986): Einfluß verschiedener Pflegemaßnahmen auf die Entwicklung und Sicherheit von Fichtenjungbeständen, *AFZ*, 41/50, 1254-1256
- Dobbertin, M. (2005): Erfassung der Bestandesdaten und Schäden auf dem repräsentativen 4x4 km Sanasilva-Netz, in: Indermühle, M., Raetz P., Volz, R., *LOTHAR. Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184*, 39-50, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Dobbertin, M., Seifert, H., Schwyzer, A. (2002): Ausmass der Sturmschäden, *Wald und Holz*, 1, 39-42
- Dong, P.H. (1995): Erste Ergebnisse der Untersuchung zu Eingriffszeitpunkt und Art der Freistellung bei Fichten-Naturverjüngung auf der Freifläche, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 167 1/2, 20-23
- Dorren, L.K.A., Berger, F., Imeson, A.C., Maier, B., Rey, F. (2004): Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps, *For. Ecol. Manage.*, 195, 165-176
- Draper, N.R., Smith, H. (1998): *Applied regression analysis*, Third Edition, 706 S., Wiley, New York
- Drew, A.P. (1983): Optimizing growth and development of 2-0 douglas-fir seedlings by altering light intensity, *Can. J. For. Res.*, 13, 425-428
- Drexhage, M., Chauviere, Marc, Colin, F., Nielsen, C.N.N. (1999): Development of structural root architecture and allometry of *Quercus petraea*, *Can. J. For. Res.*, 29, 600-608

- Droste zu Hülshoff, B.v. (1969): Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes auf Grund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen, Dissertation an der Universität München, 209 S.
- Dvorák, L., Bachmann, P., Mandallaz, D. (2001): Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 152, 445-452
- Ederer, S. (2006): Die Bewertung verschiedener Nutzungsvarianten für den Gebirgswald am Beispiel des Gerhardstein, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der TU München, 175 S.
- Ehler, C. (2005), Untersuchung zur Anwendbarkeit des schottischen Sturmschadensrisikomodells ForestGALES für Waldbestände in Baden-Württemberg, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 96 S.
- Eiberle, K. (1989): Über den Einfluß des Wildverbisses auf die Mortalität von jungen Waldbäumen in der oberen Montanstufe, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 140/12, 1031-1042
- Eiberle, K., Nigg, H. (1987): Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gebirgswald, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 138/9, 747-785
- El Kateb, H. (1991): Der Einfluß waldbaulicher Maßnahmen auf die Sproßgewichte von Naturverjüngungspflanzen im Bergmischwald, *Forstliche Forschungsberichte München*, 111, 193 S., München
- El Kateb, H. (2006): WB-HK-Silviculture, Unveröffentlichtes Programm zur Varianzanalyse, in SAS ausgeführt
- El Kateb, H., Benabdellah, B., Ammer, C., Mosandl, R. (2004): Reforestation with native tree species using site preparation techniques for the restoration of woodlands degraded by air pollution in the Erzgebirge, Germany, *Eur. J. Forest. Res.*, 123, 117-126
- El Kateb, H., Ammer, C., Schmerbeck, J., Mosandl, R. (2004): Management options in mixed mountain forests of the Bavarian Alps, in: Ammer, Ch., Weber, M., Mosandl, R. (eds.): *Regenerating Mountain Forests, An international Conference of the IUFRO units 1.05.14, 1.05.08, 1.05.00, 1.14.00*, Kloster Seeon, Germany, 12.-16. September 2004
- Ellenberg, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*, 5.Aufl., 1096 S., Ulmer, Stuttgart
- Engesser, R., Forster, B., Meier, F., Wermelinger, B. (2008): Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 159/10, 344-351
- Epp, P. (2004): Zur Abschätzung des Zuwachspotenzials von Fichten und Tannen nach starker Freistellung, *Schriftenreihe Freiburger forstliche Forschung*, 24, 135 S.
- Epp, P., Haywood, A., Spiecker, H. (2004): Waldwachstumskundliche Aspekte des Waldumbaus, in: von Teuffel et al. (Hrsg.), *Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*, 215-245
- Erzberger, C., Prein, G. (1997), Triangulation: Validity and empirically-based hypothesis construction, *Quality & Quantity*, 31, 141-154
- Ewald, J. (1997): Die Bergmischwälder der Alpen. Soziologie, Standortbindung und Verbreitung, Dissertation Bot. 290, 234 S., Berlin/Stuttgart
- Ewald, J. (1999): Die standortsökologisch fundierte Pflanzensoziologie als Erkenntnisquelle für den naturnahen Waldbau – das Beispiel der Standortgliederung für das bayerische Hochgebirge, *Freiburger Forstliche Forschung Berichte*, 16, 27-38, Freiburg
- Ewald, J., Binner, S. (2007): Werkzeuge zur Bestimmung der Waldtypen im bayerischen Hochgebirge, *Walökologie online*, 5, 25-77
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot I., Tutz, G. (2004): *Statistik, Der Weg zur Datenanalyse*, 610 S., Springer, Berlin
- Faustmann, M. (1849): Berechnung des Werthes, welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 20, 441-455
- Favre, E. (1956): *L'évolution forestière dans le Canton de Neuchâtel*, 95 S., Canton de Neuchâtel, Département de l'Agriculture, La Chaux-de-Fonds
- Favre, L.-A. (1994): Naturgemäße Waldwirtschaft in Couvet, in: Hatzfeldt (Hrsg.), *Ökologische Waldwirtschaft. Grundlagen -Aspekte-Beispiele*, 232-249
- Felbermeier, B. (2007): Holzsortierung, Unveröffentlichtes Programm zur Holzsortierung, basierend auf BDAT (Kublin und Scharnagl 1988)
- Felbermeier, B., Mosandl, R.(Hrsg.) (2004): Zukunftsorientierte Forstwirtschaft, Entwicklung eines forstlichen Entscheidungsunterstützungssystems (ZEUS) auf der Grundlage von Untersuchungen verschiedener Waldbehandlungsoptionen in Forstbetrieben Mittelschwabens, *Ökosystem Management*, 1, Felbermeier, Weilheim
- Figge, F. (2004): Bio-Folio: applying portfolio theory to biodiversity, *Biodiversity and Conservation*, 13, 827-849

- Finkeldey, R. (1999): Genetische Untersuchungen zur Reproduktion von Teak (*Tectona grandis* L. f.) in Thailand, Habilitationsschrift, Fachbereich für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, 197 S.
- Fischer, A. (1995): Forstliche Vegetationskunde, 315 S., Blackwell, Berlin
- Flick, U. (1999): An Introduction to Qualitative Research, 293 S., Sage, London
- Flick, U. (2008), Triangulation, 2. Aufl., Qualitative Sozialforschung, Band 12, 128 S., VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden
- Fölster, H., Degenhardt, M., Flor, T., Lux, M. (1991): Untersuchungen zur Tiefendurchwurzelung und Durchwurzelungsintensität auf Braunerde-Pseudogleyen im vorderen Hunsrück in Abhängigkeit von Baumart und Bestandesstrukturparametern, Mitteilungen aus der forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz: Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionschäden im Vorderen Hunsrück - "SIMS" -, 19/91, 91-106
- Frankel, O.H., Soulé, M. (1992): Conservation and evolution, Reprint von 1981, 327 S.
- Fraser, A.I. (1962): The soil and roots as factors in tree stability, Forestry Commission Bulletin, 35, 117-127
- Fraser, A.I., Gardiner, J.B.H. (1967): Rooting and Stability in Sitka Spruce, Forestry Commission Bulletin, 40, 28 S.
- Frehner, M. (2001): Gebirgswaldpflege - es kommt auf den Standort an, Schweiz. Z. Forstwes., 152, 169-176
- Frehner, M., Wasser B., Schwitter R. (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 564 S., Bern
- Freise, C (2005): Die relative Kronenlänge als Steuerungsparameter des Einzelbaumwachstums der Fichte, Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg., 160 S.
- Freise, C (2007): Die relative Kronenlänge als Steuerungsgröße des Einzelbaumwachstums der Fichte, in: Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (Hrsg.), Zukunftsorientierte Fichtenwirtschaft - Tagungsband und Projektergebnisse, 28/2007, 39-43
- Friedrich, H.-V. (1988), Sokrates., Platon: Die Apologie des Sokrates , 80 S., Klett, Stuttgart
- Friedrichs, J. (1990): Methoden empirischer Sozialforschung, 430 S., Westdeutscher Verlag, Opladen
- Fries, J., Der Einfluß extrem starker Durchforstung auf den Ertrag und die Bestandessicherheit von Nadelholzbeständen, AFZ, 760-761
- Fritz, P.(Hrsg.) (2006): Ökologischer Waldumbau in Deutschland: Fragen, Antworten, Perspektiven, 352 S., Oekom, München
- Fruhmann, M., Roeder, A., Erhöhtes Schneebruchrisiko in Fichtenbeständen durch Rotwildschälsschäden, AFZ, 528-529
- Führer, E. (2000): Forest functions, ecosystem stability and management, For. Ecol. Manage., 132, 29-38
- Füldner, K. (1995): Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern, 162 S., Cuvillier, Göttingen
- Gardiner, B.A. (1994): Wind and wind forces in a plantation spruce forest, Boundary-Layer Meteorology, 67, 161-186
- Gardiner, B.A., Stacey, G.R., Belcher, R.E., Wood, C.J. (1997): Field and wind tunnel assessments of the implications of respacing and thinning for tree stability, Forestry, 70/3, 233-252
- Gardiner, B.A., Quine, C.P. (2000): Management of forests to reduce the risk of abiotic damage - a review with particular reference to the effects of strong winds, For. Ecol. Manage., 135, 261-277
- Gardiner, B.A., Peltola, H., Kellomäki, S. (2000): Comparison of two models for predicting the critical windspeeds required to damage coniferous trees., Ecological Modelling 129, 1-23
- Garson, G., D. (2007a): Multiple Regression, from Statnotes: Topics in Multivariate Analysis. Download von: <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/statnote.htm>, am 21.04.2007,
- Garson, G., D. (2007b): Testing of Assumptions, from Statnotes: Topics in Multivariate Analysis., Download von: <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/statnote.htm>, am 21.09.2007
- Garson, G., D. (2007c): Univariate GLM, ANOVA and ANCOVA, from Statnotes: Topics in Multivariate Analysis., Download von: <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/statnote.htm>, am 21.09.2007,
- Garson, G., D. (2007d): GLM: MANOVA and MANCOVA, from Statnotes: Topics in Multivariate Analysis., Download von: <http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/statnote.htm>, am 29.11.2007
- Gärtner, S. (1990): Zur standortspezifischen Schneebruchgefährdung der Fichtenbestände im Thüringer Wald, Beiträge f. d. Forstwissenschaft, 24 / 1, 16-21

- Gayer, K. (1886): Der gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft, 168 S., Parey, Berlin
- Gerber, H.U., Pafumi, G. (1998), Utility functions: from risk theory to finance, North American Actuarial Journal, 2/3, 74-100
- Gigon, A. (1984): Typologie und Erfassung der ökologischen Stabilität und Instabilität mit Beispielen aus Gebirgs-ökosystemen, Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 12, 13-29, Bern
- Goltz, H.v. (1991): Strukturdurchforstung der Fichte. Ein Weg zu stufigem Bestandesaufbau, AFZ-Der Wald, 13/91, 677-679
- Gove, J.H., Martin, C.W., Patil, G.P., Solomon, D.S., Hornbeck, J.W. (1992), Plant species diversity on even-aged harvests at the Hubbard Brook Experimental Forest: 10-year results, Can. J. For. Res., 22, 1800-1806
- Graber, D. (1994): Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz: Schadensausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Maßnahmen, Schweiz. Z. Forstwes., 145, 905-925
- Graber, D. (1996): Die Kernfäuleschäden an Fichte in der Schweiz nördlich der Alpen, Beiheft zur schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen, 79, 283 S.
- Graudal, L., Kjaer, E., Thomsen, A., Larsen, A.B. (1997): Planning national programmes for conservation of forest genetic resources, Technical Note No. 48, Danida Forest Seed Centre, Humlebaek
- Grimm, V., Wissel, C. (1997): Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion, Oecologia 109, 323-334
- Grosse, H.-U. (1983): Untersuchungen zur künstlichen Verjüngung des Bergmischwaldes, Forstliche Forschungsberichte München, 55, 206 S.
- Gruber, F. (1992): Dynamik und Regeneration der Gehölze, Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 86/Teil 1, 420 S.
- Gruber, F., Lee D.H. (2005a): Allometrische Beziehungen zwischen ober und unterirdischen Baumparametern von Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.), Allg. Forst- u. J.- Ztg., 176/1, 14-19
- Gruber, F., Lee D.H. (2005b): Architektur der Wurzelsysteme von Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) nach dem Schichtebenenmodell auf sauren Standorten, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 176/2-3, 33-44
- Günter, S., Weber, M., Erreis, R., Aguirre, N. (2007), Influence of distance to forest edges on natural regeneration of abandoned pastures: a case study in the tropical mountain rain forest of Southern Ecuador, Eur. J. Forest Res., 126, 67-75
- Gurnaud, A. (1886): La sylviculture française et la méthode du contrôle, 121 S., Paul Jacquin, Besancon
- Haberl, A., Meier, B., Obermayer F. (2006): 1. Forsttechnisches Bergwaldforum der Bayerischen Staatsforsten. Innovative Holzerntesysteme im Bergwald, AFZ-Der Wald, 61/2, 59-61
- Hadar, J., Russel, W.R. (1969): Rules for Ordering Uncertain Prospects, The American Economic Review, 59, 25-34
- Hale, S.E., Levy, P.E., Gardiner, B.A. (2004): Trade-offs between seedling growth, thinning and stand stability in Sitka spruce stands: a modelling analysis, For. Ecol. Manage., 187, 105-115
- Halpern, B.S., Regan, H.M., Possingham, H.P., McCarthy, M.A. (2006): Accounting for uncertainty in marine reserve design, Ecology Letters, 9, 2-11
- Hammerl, R. (2008), Finanzielle Auswirkungen waldbaulicher Eingriffe in Fichtenreinbestände der Bergmischwaldstufe, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Waldbau der TU München, 111 S.
- Hanewinkel, M. (1996): Anforderungen an ein Konzept: Überführung von Fichtenreinbeständen in Bestände mit Dauerwaldstruktur. Planungsstrategie und deren Umsetzung, AFZ-Der Wald, 51, 1440-1446
- Hanewinkel, M. (2001): Economic Aspects of the Transformation from even-aged pure stands of Norway spruce to unevenaged mixed stands of Norway spruce and beech, For. Ecol. Manage., 151, 181-193
- Hanewinkel M. (2004): Entscheidungen bei Waldumbau und Risiko - Planung und ökonomische Analyse komplexer betrieblicher Probleme, Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, 22
- Hanewinkel, M. (2005): Neuronal networks for assessing the risk of windthrow on the forest division level: a case study in southwest Germany, Eur. J. Forest. Res., 124, 243-249
- Hanewinkel, M. (2006): Ökonomische Ziele und ökologischer Waldumbau - Chancen und Risiken für den Forstbetrieb, in: Fritz, P. (Hrsg.): Ökologischer Waldumbau in Deutschland, 208-249, Oekom, München
- Hanewinkel, M., Zhou, W., Schill, C. (2004): A neuronal network approach to identify forest stands susceptible to wind damage, For. Ecol. Manage., 196, 227-243
- Hanewinkel, M., Zhou, W. (2005): Risikoprognose mit neuronalen Netzen - am Beispiel von Umbaubetrieben, in: von Teuffel et al. (Hrsg.), Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft, 261-268

- Hanewinkel, M., Holcey, J. (2005): Quantifizierung von Risiko durch altersstufenweise Ermittlung von Übergangswahrscheinlichkeiten mit Hilfe von digitalisierten Forstkarten, in: von Teuffel et al. (Hrsg.), *Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*, 269-277
- Hanewinkel, M., Navarro, G. (2005): Finanzielle Konsequenzen des Waldumbaus - Analyse mit Methoden der Investitionsrechnung, in: von Teuffel et al. (Hrsg.), *Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*, 248-260
- Hanewinkel, M., Holcey, J. (2006): A forest management risk insurance model and its application to coniferous stands in southwest Germany, *Forest Policy and Economics*, 8, 161-174
- Hanoch, G., Levy, H. (1969): The Efficiency Analysis of Choices Involving Risk, *Review of Economic Studies*, 36, 335-346
- Hansen, J. (2004): Conversion of Coniferous Forests - Will Ecological and Economic Needs Meet?, *EFI News*, 12/1, 3-6
- Hartmann, F.K. (1956): Waldgesellschaften der Bergmischwaldstufe aus dem bayerischen Randalpengebiet in ihrem Aufbau und ihrer waldbaulichen Bedeutung, *Forstarchiv*, 27, 48-55
- Hasel K., Schwartz, E., (2002): *Forstgeschichte, Ein Grundriß für Studium und Praxis*, 2.aktualisierte Auflage, 394 S., Kessel, Remagen
- Hegyí, F. (1974): A simulation model for managing jack-pine stands, in: Fries (Hrsg.), *Growth models for tree and stand simulation*, 74-90, Royal College of Forestry, Stockholm
- Heidingsfelder, A., Knoke, T. (2004): Douglasie versus Fichte, Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf der Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern, *Schriften zur Forstökonomie*, 26, 111 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Heikkinen, V-P., Kuosmanen, T. (2002): Stochastic Dominance Portfolio Analysis of Forestry Assets, *Economics Working Paper Archive, EconWPA, Finance 0210002*
- Herold, A., Ulmer, U. (2001): Stand stability in the Swiss National Forest Inventory: assessment technique, reproducibility and relevance, *For. Ecol. Manage.*, 145, 29-42
- Hertz, D.B. (1964): Risk Analysis in Capital Investment, *Harvard Business Review*, 42/1, 95-106
- Hess, S.W., Quigley, H.A. (1963): Analysis of Risk in Investment using Monte Carlo Techniques, *Chemical Engineering Progress Symposium Series*, 42, 55-63
- Hilbrig, L., Bolte, A. (2006): Wirkung des Orkans "Gudrun" auf die Bestandesstruktur eines Fichten-Buchen-Naturwaldes in Südschweden, in: *Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten - Sektion Waldbau - Beiträge zur Jahrestagung vom 18.-19. September 2006 in Tharandt*, 87-97, TU Dresden
- Hildebrandt, M. (1999): Der Bergwald als Lawinenschutz, *AFZ-Der Wald*, 536-537
- Hildebrandt, M. (2007): Schutzwaldmanagement in Bayern, Vortrag auf dem 5. Schutzwaldsymposium: "Schutzwaldmanagement - Zukunftsvorsorge für den Alpenraum", am 14.09.2007 in Garmisch-Partenkirchen
- Hilf, H.H. (1927): Wurzelstudien an Waldbäumen, Die Wurzelverbreitung und ihre waldbauliche Bedeutung, 121 S., Shaper, Hannover
- Höllerl, H. (1969), Über die Erhöhung der Bestandeselastizität mittels Einbringung von Gummibäumen - eine Fallstudie im Raum Augsburg, *Bavarian Journal of Forest Science*, 1, 1-17, Augsburg
- Höllerl, H. (1981): Laugna '81 - ein Brückenschlag zur ANW?, *AFZ*, 51-53, 1402-1403
- Höllerl, H. (2004), *Die Bratwurst ist eine Fränkin. Genüssliche Monographie eines Kult-Nahrungsmittels*, 1. Aufl., 163 S., Echter, Würzburg
- Höllerl, H., Schmitt, A. (1997), *Das neue Buch vom Frankenwein*, 216 S., Echter, Würzburg
- Höllerl, S. (2004): "...völlig verdorret und zu Grunde gegangen", Eine Literaturstudie über historische Trockenergebnisse von 1723 bis heute, *LWF Aktuell*, 43, 21-22
- Höllerl, S. (2006): Zur Wirksamkeit waldbaulicher Eingriffe in Fichtenreinbeständen der Bergmischwaldstufe - Vorläufige Ergebnisse, in: *Ökologie der Waldverjüngung, Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten - Sektion Waldbau, Jahrestagung in Tharandt*
- Höllerl, S., Mosandl, R. (2008a): Untersuchung der Wirksamkeit waldbaulicher Eingriffe in Fichtenreinbeständen der Bergmischwaldstufe zur Sicherung der Schutzfunktion in den bayerischen Alpen, in: *Waldforschung aktuell, Kurzfassungen der Vorträge zum 12. Statusseminar des Kuratoriums für Forstliche Forschung*, 2008, 28-30
- Höllerl, S., Mosandl, R. (2008b): Effects of silvicultural measures on resistance and elasticity of pure norway spruce stands (*Picea abies* [L.] Karst.) in the montane zone of the Bavarian Alps, in: *Mountain Forests in a Changing World, International Conference, April 2-4, 2008, Vienna, Book of Abstracts*, 26

- Hoffman, P. (1998): *The Man Who Loved Only Numbers, The Story of Paul Erdős and the Search for mathematical Truth*, 302 S., Hyperion, New York
- Hohenadl, W. (1981): *Untersuchungen zur natürlichen Verjüngung des Bergmischwaldes*, Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, 198 S.
- Holthausen, N. (2006): *Ökonomische Bedeutung und Management von Naturrisiken im Wald*, Schriften aus dem Institut für Forstökonomie der Universität Freiburg, 26, 121 S.
- Holthausen, N., Hanewinkel, M., Holec, J. (2004): *Risikomanagement in der Forstwirtschaft am Beispiel des Sturmrisikos*, Forstarchiv, 75, 149-157
- Hradetzky, J. (1978): *Das Bestimmtheitsmaß: Kritische Bemerkungen zu seiner Anwendung im forstlichen Versuchswesen*, Forstw. Cbl., 97, 168-181
- Huber, S. (2006): *Kriterien für Stabilität und Elastizität in reinen Fichtenbeständen der Bergmischwaldstufe und deren waldbauliche Beeinflussung*, unveröffentlichte Praktikumsarbeit, 29 S.
- Huggard, D.J., Klenner, W., Vyse, A. (1999): *Windthrow following four harvest treatments in an Engelmann spruce - subalpine fir forest in southern interior British Columbia, Canada*, Can. J. For. Res., 29, 1547-1556
- Huggard, D.J., Vyse, A., Klenner, W., Ferguson, C. (2001): *Wind and snow damage in ESSF: Update from Sicomous Creek*, Proceedings of Windthrow Conference. UBC. Published on Forestry Continuing Studies Network Website, 58-63
- Hundeshagen, C. (1828), *Encyclopädie der Forstwissenschaft*, 2. Aufl., Tübingen
- Huss, J. (1990): *Zur Durchforstung engbegründeter Fichtenjungbestände*, Forstw. Cbl., 109, 101-118
- Huss, J. (1994): *Leitfaden für die Anfertigung von Diplomarbeiten und Dissertationen in der Forstwissenschaft und verwandten Fachgebieten*, Unveränderter Nachdruck der 2. Aufl. von 1989, 138 S.
- Huss, J. (1998): *Der Fichtendurchforstungsversuch Göggingen. Eisschäden an Fichten in einem Durchforstungsversuch*, AFZ, 8/1998, 430-432
- Huss, J. (2004): *Zur Jungdurchforstung von Fichtenbeständen und ihrer Umformung in Buchen-Fichten-Mischbeständen*, unveröffentlichter Exkursionsführer
- Huss, J., Hahn, A. (2007): *Fichten-Durchforstungsversuch Freising*, unveröffentlichter Exkursionsführer
- Indermühle, M.P. (1978): *Struktur-, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe (Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae): Beiheft zur schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen*, 60, 97 S.
- Indermühle, M., Raetz, P., Volz, R. (2005): *LOTHAR. Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6., Umwelt-Materialien*, 184, 145 S., Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Immler und Blaschke (2007): *Forstschädlinge profitieren vom Klimawandel*, LWF Aktuell, 60, 24-26
- Jacobs, M.R. (1954): *The effect of wind sway on the form and development of pinus radiata d. Don.*, Australian Journal of Botany, 2, 35-51
- Jacobsen, J.B., Möhring, B., Wippermann, C. (2004): *Business Economics of Conversion and Transformation - A Case Study of Norway Spruce in Northern Germany*, in: Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Skovsgaard, J.P., Sterba, H., v.Teuffel, K. (Hrsg.), *Norway Spruce Conversion - Options and Consequences*, European Forest Institute Research Report 18, 225-252, Brill, Leiden, Boston
- Jakobi, K.-P. (1989): *Struktur und Wachstum von Altbestand und Naturverjüngung auf dem seit 1953 beobachteten Bergmischwald-Verjüngungsversuch RUH 110 im Forstamt Ruhpolding*, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, 200 S.
- Jalkanen, A., Mattila, U. (2000): *Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data*, For. Ecol. Manage., 135, 315-330
- Janesick, V.J. (1998), *The Dance of Qualitative Research Design: Metaphor, Methodolatry, and Meaning*, in: Denzin, N.K., Lincoln, Y.S. (Hrsg.): *Strategies of Qualitative Inquiry*, S. 35-55, Sage, Thousand Oaks
- Janesick, V.J. (2003), *The Choreography of Qualitative Research Design: Minuets, Improvisations and Crystallization*, in: Denzin, N.K., Lincoln, Y.S. (Hrsg.): *Strategies of Qualitative Inquiry*, 2. Aufl., S. 46-79, Sage, Thousand Oaks
- Johann, E. (2002): *Multifunktionale Waldwirtschaft und Nutzungskonflikte in der Geschichte der österreichischen Gebirgsregionen*, Austrian Journal of Forest Science, 119/3, 191-204
- Johann, E., Agnoletti, M., Axelsson, A.-L., Bürgi, M., Östlund, L., Rochel, X., Schmidt, E.U., Schuler, A., Skovsgaard, J.P., Winiwarter, V. (2004): *History of Secondary Norway Spruce Forests in Europe*, in: Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Skovsgaard, J.P., Sterba, H., v.Teuffel, K. (Hrsg.), *Norway Spruce Conversion - Options and Consequences*, European Forest Institute Research Report 18, 25-62, Brill, Leiden, Boston

- Jonsson, M.J., Foetzki, A., Kalberer, M., Lundström, T., Ammann, W., Stöckli, V. (2006): Root-soil rotation stiffness of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) growing on subalpine forested slopes, *Plant and Soil*, 285, 267-277
- Kahn, M., Pretzsch, H. (1997): Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 168, 115-123
- Kalberer, M., Ammann, M., Jonsson, M. (2007): Mechanische Eigenschaften der Fichte: Experimente zur Analyse von Naturgefahren, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 158/6, 166-175
- Karamata, J. (1932): Sur une inégalité relative aux fonctions convexes, *Publ. Math. Univ de Belgrade*, 1, 145-148, zit. n. Levy, 1992
- Karch R., Neumann, M. (2007): Scientific Computing, Skriptum zur Vorlesung im Sommersemester 2007, Download von <http://www.exp.univie.ac.at/se/index.html> am 31.01.2008 um 8:47 Uhr
- Kató, 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.
- Kelle, U., Erzberger, C. (1999): Integration qualitativer und quantitativer Methoden. Methodologische Modelle und ihre Bedeutung für die Forschungspraxis, *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 51/3, 509-531
- Kenk, G., Guehne, S. (2001): Management of transformation in central Europe, *For. Ecol. Manage.*, 151, 107-119
- Kenk, G., Weise, U. (1998): Zu: Beobachtungen zur Bestandesstruktur undurchforsteter Fichtenbestände, *AFZ-Der Wald*, 18, 937-939
- Kennel, E. (1983): Waldschadensinventur Bayern 1983 - Verfahren und Ergebnisse, *Forstliche Forschungsberichte München*, 57, 183 S., München
- Kennel, R. (1965): Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein und Mischbestand, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 136/7+8, 149-161, 173-189
- Kern, K.G. (1966): Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald, 232 S., BLV Verlagsgesellschaft, München
- Kern, K.G., Moll, W., Braun, H.J. (1961): Wurzeluntersuchungen an Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 132, 241-259
- Keyes, M.R., Grier, C.C. (1981): Above- and belowground net reproduction in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites, *Can. J. For. Res.*, 11, 599-605
- Kimmins, J.P. (2004): *Forest Ecology, A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry*. 3rd Edition, 611 S.
- Klemperer, W.D. (1996): *Forest Resource Economics and Finance*, 551 S., McGraw-Hill, Inc., New York
- Klemperer, W.D. (2001): Incorporating Risk into Financial Analysis of Forest Management Investments, in: Gadow, K.v., *Risk Analysis in Forest Management*, 149-170
- Kleinbaum, D.G., Kupper, L.L., Nizam, A., Muller, K.E. (2007): *Applied regression analysis and other multivariable methods*, 4. Aufl., 906 S., Thomson Brooks/Cole, Belmont
- Klimo, E., Hager, H., Kulhavy, J.(Hrsg.) (2000): *Spruce Monocultures in Central Europe - Problems and Prospects*, *EFI Proceedings*, 33, European Forest Institute, Joensuu
- Knight, F.H. (1921): *Risk, Uncertainty and Profit*, Reprint: Augustus M. Kelley: Reprints of Economic Classics, 1964, New York, 381 S.
- Knoke, T. (1997): Ökonomische Aspekte der Holzproduktion in ungleichaltrigen Wäldern: einführende Untersuchungen zur Forstbetriebsplanung im Kreuzberger Plenterwald, *Forstw. Cbl.*, 116, 178-196
- Knoke, T. (1998a): Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald - zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern, *Forstliche Forschungsberichte München*, 170, 182 S., München
- Knoke, T. (1998b): Die Stabilisierung junger Fichtenbestände durch starke Durchforstungseingriffe - Versuch einer ökonomischen Bewertung, *Forstarchiv*, 69, 219-226
- Knoke, T. (2003): Eine Bewertung von Nutzungsstrategien für Buchenbestände (*Fagus sylvatica* L.) vor dem Hintergrund des Risikos der Farbkernbildung. Eine waldbaulich-forstökonomische Studie, *Forstliche Forschungsberichte München*, 2003, 200 S., München
- Knoke, T. (2004a): Überführung in Plenterwald durch früh einsetzende Tannenvorausverjüngung: Strategie für Idealisten oder rentables Konzept?, *LWF Wissen: Beiträge zur Tanne*, 45, 61-65
- Knoke, T. (2004b): Klimawandel: Risikovorsorge durch Mischbestände?, in: *Forstwirtschaft im Dialog...gemeinsam die Zukunft gestalten!*, *Kongressbericht 61.Jahrestagung Deutscher Forstverein e.V.*, 25-28.09.2003 in Mainz, 343-355

- Knoke, T. (2004c): Ökonomische Bewertung der Waldbehandlungsoptionen unter Berücksichtigung des Betriebsrisikos, *Ökosystem Management*, 1, 109-117
- Knoke, T. (2007): Finanzielle Risiken von Rein- und Mischbeständen, in: Wauer, A., Felbermeier, B. (Hrsg.), *Der gemischte Wald - fit für die Zukunft!*, Zum 100. Todestag von Karl Gayer, LWF Wissen, 58, 34-37
- Knoke, T. (2008): Mixed forests and finance - Methodological approaches, *Ecological Economics*, 65, 590-601
- Knoke, T. (in Vorbereitung), *A Scientific Perspective for Silviculture*
- Knoke, T., Plusczyk, N. (2001): On economic consequences of transformation of a spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) dominated stand from regular into irregular age structure, *For. Ecol. Manage.*, 151, 163-179
- Knoke, T., Moog, M., Plusczyk, N. (2001): On the effect of volatile stumpage prices on the economic attractiveness of a silvicultural transformation strategy, *Forest Policy and Economics*, 2, 229-240
- Knoke, T., Peter, R. (2002): Zum optimalen Zieldurchmesser bei fluktuierendem Holzpreis - eine Studie am Beispiel von Kiefern-Überhältern (*Pinus sylvestris* L.): *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 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*, 59/11, 535-539
- Knoke, T., Stimm, B., Ammer, C., Moog, M. (2005): Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept, *For. Ecol. Manage.*, 213, 102-116
- Knoke, T., Wurm, J. (2006): Mixed forests and a flexible harvest policy: a problem for conventional risk analysis?, *Eur. J. Forest. Res.*, 125, 303-315
- Knoke, T., Hahn, A. (2007), Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungseinblick und -ausblick, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 158/10, 312-322
- Knoke, T., Ammer, C., Stimm, B., Mosandl, R. (2008): Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics, *Eur. J. Forest. Res.*, 127(2): 89-101
- Knoke, T., Seifert, T. (2008): Integrating selected ecological effects of mixed European beech-Norway spruce stands in bioeconomic modelling, *Ecological Modelling*, 210, 487-498
- Kohnle, U., Struss, M., Eisenmann, P. (2005): Entwicklung von Naturverjüngungen aus Fichte und Tanne nach Sturm, *AFZ-Der Wald*, 11/2005, 569-571
- Kohnle, U., Teuffel, K.v. (2005): Ist Jungbestandspflege in Fichten-Naturverjüngungen sinnvoll auf Sturmflächen?, www.waldwissen.net, Download am 21.11.2007 16:56, Erstveröffentlichung: *AFZ* 11/2005, S.573
- Köckeis-Stangl, E. (1980): Methoden der Sozialisationsforschung, in: Hurrelmann, K., Ulich, D. (Hrsg.), *Handbuch der Sozialisationsforschung*, 321-370, Beltz Verlag, Weinheim und Basel
- Kölling, C. (2007a): Bäume für die Zukunft. Baumartenwahl in den Zeiten des Klimawandels, *LWF Aktuell*, 60, 35-37
- Kölling, C. (2007b): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten, *AFZ-Der Wald*, 62/23, 1242-1245
- Kölling, C., Ammer, C. (2006): Waldumbau unter den Zeichen des Klimawandels, *AFZ-Der Wald*, 20/2006, 1086-1089
- Kölling, C., Zimmermann, L., Walentowski, H. (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte?, *AFZ-Der Wald*, 11/2007, 584-588
- König, A. (1995): Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald, Ein Erklärungs- und Prognosemodell, 194 S., *Sauerländer's*, Frankfurt
- König, A. (1996): Abgrenzung von Sturmschadensrisikoklassen und Entwicklung von risikoorientierten Endnutzungsstrategien für den bayerischen Staatswald, Abschlussbericht an das Kuratorium der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - Projekt H8, 54 S. +Anhang, Freising
- König, A. (1999): Risikoorientierter Waldbau, *Forstliche Forschungsberichte München*, 136-144, München
- König, G. (1864), *Die Forst-Mathematik in den Grenzen wirtschaftlicher Anwendung nebst Hülftafeln für die Forstschätzung und den täglichen Forstdienst*, 5. Aufl., 162 S., Thienemann, Gotha
- Königer, J., Schleicher, A., Mosandl, R. (2005), *Waldweide im Bergwald des nördl. Alpenraums: Interessenskonflikte, wissenschaftliche Erkenntnisse und Konfliktlösungsansätze*, *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*, 70, 151-175
- Konnert, M. (2007): Bedeutung der Herkunft beim Klimawandel, *LWF Aktuell*, 60, 38-39
- Konnert, M., Hosius, B., Hussendörfer, E. (2007): Genetische Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen - Ergebnisse, Stand und Forschungsbedarf, *Forst und Holz*, 62/1, 8-14
- Konôpka, J. (1978): Optimálna a krajná hranica rastových vlastností stromov smreka z hladiska odolnosti lesných porastov proti vetru v oblasti Nízkých Tatier, *zit. N. SCHMIDT-VOGT 1989*, slowak. M. russ., engl., deutsch.

- Zusammenfassung.: Die optimale und die Randgrenze der Wuchseigenschaften von Fichten vom Blickpunkt ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Wind im Gebiet der Niederen Tatra. *Ved.Pr. VÚLH* 26, 13-41
- Köstler, J. (1955): *Waldbau*, Zweite Auflage, 418 S., Parey, Hamburg, Berlin
- Köstler, J.N., Brückner, E., Biebelriether, H. (1968): *Die Wurzeln der Waldbäume*, Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa, 284 S., Parey, Hamburg, Berlin
- Kouba, J. (2002): Das Leben des Waldes und seine Lebensunsicherheit. *Forest Life and its Temporal Uncertainty*, *Forstw. Cbl.*, 121, 211-228
- Kozłowski, T.T. (1971): *Growth and development of trees*, 2. Cambial growth, root growth, and reproductive growth, Academic Press, New York
- Kozłowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G., (1991): *The physiological ecology of woody plants*, 657 S., Academic Press, New York
- Kraft, G. (1884): *Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben*, Hannover
- Kramer, H. (1979): Zum Wachstum der Uraltfichten "Dicke Tannen", *Forstarchiv*, 50, 214-219
- Kramer, H. (1988): *Waldwachstumslehre, Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandessicherheit*, 374 S., Parey, Hamburg, Berlin
- Krämer, W., Schoffer, O., Tschiersch, L. (2005): *Datenanalyse mit SAS, Statistische Verfahren und ihre grafischen Aspekte*, 376 S., Springer, Berlin
- Kräuchi, N., Brang, P., Schönenberger, W. (2000): Forests of mountainous regions: gaps in knowledge and research needs, *For. Ecol. Manage.*, 132, 73-82
- Kruschwitz, L. (2005): *Investitionsrechnung*, 10. überarb. u. erw. Aufl., 559 S., Oldenbourg, München, Wien
- Kruschwitz, L. (2007): *Finanzierung und Investition*, 5. überarb. U. erw. Aufl., 529 S., Oldenbourg, München, Wien
- Kruschwitz, L., Kruschwitz, P. (1996): Entwurf einer neuen Theorie zur Bewertung von Lotterien (Übersetzung von Bernoulli, 1738, *Specimen theoriae novae de mensura sortis*): *Die Betriebswirtschaft*, 56, 733-742
- Kublin, E., Scharnagl, G. (1988): *Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT*, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg
- Kuoch, R. (1972): Zur Struktur und Behandlung von subalpinen Fichtenwäldern, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 123, 77-89
- Kusché, W., *Ableitung des Sturmwurftrisikos aus Luftbildzeitreihen*, 18-29
- Kutschera, L., Lichtenegger, E. (2002): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, 604 S., Stocker, Graz
- Lamnek, S. (1989): *Qualitative Sozialforschung*, Band 2: Methoden und Techniken, 420 S., Psychologie Verlags Union, München
- Lamnek, S. (2005): *Qualitative Sozialforschung*, 4. vollständig überarbeitete Auflage, 808 S., Beltz Verlag, Weinheim und Basel
- Langenegger H. (1979): Eine Checkliste für Waldstabilität im Gebirgswald, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 130, 640-646
- Lässig, R. (2003): Sturmwurfisiko per Mausclick bestimmen, *Holz-Zentralblatt*, 93, 1316
- Lässig, R., Schönenberger, W. (1993): Forschung auf Sturmschadenflächen in der Schweiz, *Forst und Holz*, 49 / 9, 244-249
- Lätt, N. (1991): Zum Zusammenhang zwischen Kronenschäden und Windfallholzanteil, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 142, 109-131
- Lavnyy, V., Lässig, R. (2006): Häufigkeit und Ausmaß von Windwürfen in den ukrainischen Karpaten, in: Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten -Sektion Waldbau- Beiträge zur Jahrestagung vom 18.-19. September 2006 in Tharandt, 75-86, TU Dresden
- Leder, B. (1998): Beobachtungen zur Bestandesstruktur undurchforsteter Fichtenbestände, *AFZ-Der Wald*, 15/1998, 793-796
- Leder, B. (2002): Struktureiche Dauerwälder lösen Nadelbaum-Reinbestände ab, *LÖBF-Mitteilungen*, 02/02, 25-33
- Leclerc, D. (2001): Typologies de la structure des peuplements - Outils adaptés à la multifonctionnalité et à la dynamique: cas des peuplements irréguliers en forêt de montagne, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 152/4, 117-122
- Leibundgut, H. (1969): Erhöht eine starke Durchforstung die Windwurfgefahr?, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 120, 110-112
- Leibundgut, H. (1978): *Die Waldpflege*, 204 S., Haupt, Bern, Stuttgart

- Leibundgut, H. (1984): Die natürliche Waldverjüngung, 115 S., Haupt, Bern, Stuttgart
- Levy, H. (1992): Stochastic Dominance and expected utility: survey and analysis, *Management Science*, 38/4, 555-593
- Levy, H. (2006): Stochastic Dominance, Investment Decision Making under Uncertainty, 2nd Edition, 439 S., Springer, New York
- Levy, H., Sarnat, M. (1970): Alternative Efficiency Criteria: An Empirical Analysis, *Journal of Finance*, 25, 1153-1158
- Levy, P.E., Hale, S.E., Nicoll, B.C. (2004): Biomass expansion factors and root:shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain, *Forestry*, 77/5, 421-430
- Liebold, E. (1965): Die Erkennbarkeit der Wuchspotenz des Einzelbaumes im gleichaltrigen Bestand, *Archiv für Forstwesen*, 14-11/12, 1285-1316
- Liebold, E. (1967): Kritische Betrachtung zur Waldgefügetypenlehre von J. Weck, *Archiv für Forstwesen*, 16/3, 265-310
- Liss, B.M. (1987): Versuche zur Waldweide. Der Einfluß des Weideviehs auf Verjüngung, Bodenvegetation und Boden im Bergmischwald unter Berücksichtigung der Einwirkung des Schalenwildes, Diss. Universität München,
- Liss, B.M. (1988a): Der Einfluß von Weidevieh und Wild auf die natürliche und künstliche Verjüngung im Bergmischwald der ostbayerischen Alpen, *Forstw. Cbl.*, 107, 14-25
- Liss, B.M. (1988b): Versuche zur Waldweide - der Einfluß von Weidevieh und Wild auf Verjüngung, Bodenvegetation und Boden im Bergmischwald der ostbayerischen Alpen -, *Forstliche Forschungsberichte München*, 87, 209 S.
- Liss, B.M. (1989): Die Wirkung der Weide auf den Bergwald - Ergebnisse mehrjähriger Untersuchungen, *Forstliche Forschungsberichte München*, 99, 121 S.
- Liss, B.M. (1990): Beweidungseffekte im Bergwald. Ergebnisse aus fünfjährigen Untersuchungen zur Waldweide unter besonderer Berücksichtigung des Wildverbisses, in: Zustand und Gefährdung des Bergwaldes, Rundgespräch der Kommission für Ökologie der Bay. Akademie der Wissenschaften, 50-65
- Lobinger, G. (2002): Wissenswertes über den Borkenkäfer, *LWF Aktuell*, 33, 10-11
- Lohmander, P., Helles, F. (1987): Windthrow probability as a function of stand characteristics and shelter, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2, 227-238
- Löw, H. (1975): Zustand und Entwicklungsdynamik der Hochlagenwälder des Werdenfelser Landes, Diss. Universität München, 200 S.
- Ludwig-Mayerhofer, W. (1999): Regressionsanalyse, Artikel aus "ILMES" (Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung): http://www.lrz-muenchen.de/~wlm/ilm_r2.htm Download am 20.09.2007
- Ludwig-Mayerhofer, W. (2005), Triangulation, Artikel aus "ILMES" (Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung), http://www.lrz-muenchen.de/~wlm/ilm_t13.htm Download am 17.08.2008
- Lundström, T., Jonas, T., Stöckli, V., Ammann, W. (2007a): Anchorage of mature conifers: resistive turning moment, root-soil plate geometry and root growth orientation, *Tree Physiology*, 27/9, 1217-1227
- Lundström, T., Jonsson, M.J., Kalberer, M. (2007b): The root-soil system of Norway spruce subjected to turning moment: resistance as a function of rotation, *Plant and Soil*, 300, 35-49
- Lüpke, B.v., Spellmann, H. (1997): Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen, *Forstarchiv*, 68, 167-179
- Lüpke, B.v., Spellmann, H. (1999): Aspects of stability, growth and natural regeneration in mixed Norway spruce-European beech stands as a basis of silvicultural decisions, in: Olsthoorn, A.F.M., Bartelink, H.H., Gardiner, J.J., Pretzsch, H., Hekhui, H., J., Franc, A. (Hrsg.), *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*, 245-267, DLO Institute for Forestry and Nature Research, Wageningen
- Lyr, H., Hoffmann, G. (1967): Growth Rates and Growth Periodicity of Tree Roots, *International Review of Forestry Research*, 2, 181-236
- Lyr, H., Fiedler, H.J., Tranquillini, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze, 620 S., Gustav Fischer, Jena
- Magin, R. (1959): Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen, *Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*, 30, 216 S., München
- Mai, W. (2000): Waldbaulich-ökonomische Analysen und Empfehlungen, in: Mößmer et al. (Hrsg.), *Waldbaulich-ökonomische Entscheidungshilfen für eine rationelle Fichtenpflege*, unveröff. Abschlußbericht d. Proj. V40 des Kuratoriums für forstliche Forschung
- Markowitz, H. (1952): Portfolio Selection, *The Journal of Finance*, 7, 77-91

- Marsch, M. (1989a): Biomechanische Modelle zur Quantifizierung der Tragfähigkeit von Einzelbäumen und Beständen gegenüber Schnee- und Windbelastung sowie darauf aufbauende Bestandesbehandlungsmaßnahmen mit Hilfe eines Simulationsmodells, dargestellt am Beispiel der Baumart Fichte, Dissertation an der Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen der TU Dresden, 384 S.
- Marsch, M. (1989b): Stabilisierung von Fichtenbeständen gegenüber Schnee und Sturm durch Dichteregulierung in der Jugend, in: Treatment of young forest stands, Proceedings of IUFRO-Symposium, Working Party S 1.05-03, 96-119, TU Dresden, Dresden
- Mason, W.L. (2002): Are irregular stands more windfirm?, *Forestry*, 75/4, 347-355
- Matthek, C., Bethge, K., Kappel, R., Mueller, P., Tesari, I. (2003): Failure modes for trees and related criteria, in: Ruck, B., Kottmeier, C., Matthek, C., Quine, C., Wilhelm, G.: Wind effects on trees, International Conference 2003 in Karlsruhe, Germany, 219-230
- Matthes, (1911): Mitteilungen über Bau und Leben der Fichtenwurzeln und Untersuchung über die Beeinflussung des Wurzelwachstums durch wirtschaftliche Einwirkungen, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, Januar 1911, 1-6
- Mayer, H. (1985): Baumschwingung und Sturmgefährdung des Waldes, *Münchener Universitäts-Schriften*, 51, 247 S.
- Mayer, H., Ott, E. (1991): Gebirgswaldbau Schutzwaldpflege, Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz, 587 S., Gustav Fischer, Stuttgart, New York
- Mayer, H., Schindler, D. (2002): Forstmeteorologische Grundlagen zur Auslösung von Sturmschäden im Wald in Zusammenhang mit dem Orkan "Lothar", *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 173/11-12, 200-208
- Mayer, P., Brang, P., Dobbertin, M., Hallenbarter, D., Renaud, J.-P., Walthert, L., Zimmermann, S. (2005): Forest storm damage is more frequent on acidic soils, *Ann. For. Sci.*, 62, 303-311
- Mayring, P. (2001): Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse., *Forum Qualitative Sozialforschung [Online Journal]* 2(1): <http://qualitative-research.net/fqs/fqs.htm> [Zugriff: 17.05.2007]
- Mayring, P. (2002): Einführung in die Qualitative Sozialforschung, Eine Anleitung zu qualitativem Denken, 5. Aufl., 170 S., Beltz Verlag, Weinheim und Basel
- Mercer, D.E., Prestemon, J.P., Butry, D.T., Pye, J.M. (2007): Evaluating Alternative Prescribed Burning Policies To Reduce Net Economic Damages From Wildfire, *American Journal of Agricultural Economics*, 89/1, 63-77
- Messier, C., Kneeshaw, D.D. (1999): Thinking and acting differently for sustainable management of the boreal forest, *The Forestry Chronicle*, 75/6, 929-938
- Metropolis, N. (1987): The Beginning of the Monte Carlo Method, in: Los Alamos Science Special Issue: Stanislaw Ulam 1909-1984, 15, 125-130
- Metropolis, N., Ulam, S. (1949): The Monte Carlo Method, *Journal of the American Statistical Association*, 44/247, 335-341
- Meuser, M., Nagel, U. (1991): ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht, in: Garz, D., Kraimer K. (Hrsg.), *Qualitativ-empirische Sozialforschung. Konzepte, Methoden, Analysen.*, 447-471, Westdeutscher Verlag, Opladen
- Meyer-Grass, M., Schneebeli, M. (1992): Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen, *Internationales Symposium Interpraevent 1992*, 443-455, Bern
- Michailoff, I. (1943): Zahlenmäßiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven, *Forstw. Cbl.*, 6, 273-279
- Mieg, H.A., Brunner, B. (2001): Experteninterviews, MUB Working Paper 6, Professur für Mensch-Umwelt-Beziehungen, 21 S., ETH Zürich
- Mitscherlich, G. (1970): Wald Wachstum und Umwelt. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums, Erster Band: Form und Wachstum von Baum und Bestand, 142 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Mitscherlich, G. (1974): Sturmgefahr und Sturmsicherung, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 125/4, 199-216
- Modell, S. (2005), Triangulation between case study and survey methods in management accounting research: An assessment of validity implications, *Management Accounting Research*, 16, 231-254
- Möhring, B. (1986): Dynamische Betriebsklassensimulation. Ein Hilfsmittel für die Waldschadensbewertung und Entscheidungsfindung im Fostbetrieb, *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben*, 20, 268 S.
- Möhring, B. (2001a), Nachhaltige Forstwirtschaft und Rentabilitätsrechnung - ein Widerspruch?, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 172/4, 61-66
- Möhring, B. (2001b), The German struggle between the "Bodenreinertragslehre" (land rent theory) and "Waldreinertragslehre" (theory of the highest revenue) belongs to the past - but what is left?, *Forest Policy and Economics*, 2, 195-201

- Möhring, B. (2004): Betriebswirtschaftliche Analyse des Waldumbaus, *Forst und Holz*, 59, 523-530
- Moilanen, A., Runge, M.C., Elith, J., Tyre, A., Carmel, Y., Fegraus, E., Wintle, B.A., Burgman, M., Ben-Haim, Y. (2006): Planning for robust reserve networks using uncertainty analysis, *Ecological Modelling* 199, 115-124
- Monserud, R.A., Ek, R. (1974): Plot Edge Bias in Forest Stand Growth Simulation Modells, *Can. J. For. Res.*, 4, 419-423
- Moog, M. (1997): Forstwirtschaft: Wirtschaften mit naturnahen Ökosystemen, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 12, "Forstwirtschaft im Konfliktfeld Ökologie-Ökonomie", 37-43
- Moog, M. (2004): Ökonomische Bewertung der Waldbehandlungsoptionen unter Berücksichtigung des Bestandesrisikos, *Ökosystem Management*, 1, 102-108
- Mosandl, R. (1984): Löcherhiebe im Bergmischwald. Ein waldbauökologischer Beitrag zur Femelschlagverjüngung in den Chiemgauer Alpen, *Forstliche Forschungsberichte München*, 61, 298 S.
- Mosandl, R. (1991): Die Steuerung von Waldökosystemen mit waldbaulichen Mitteln - dargestellt am Beispiel des Bergmischwaldes, *Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*, 46, 246 S.
- Mosandl, R. (1993): Ökologischer Waldbau: Zur Neuorientierung des Waldbaus, *AFZ*, 22, 1122-1127
- Mosandl, R. (1997): Waldbau zwischen Ökonomie und Ökologie, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 12, "Forstwirtschaft im Konfliktfeld Ökologie-Ökonomie", 107-117
- Mosandl, R. (2000): Waldbauliche Rationalisierungsmöglichkeiten im Bereich der Bestandesbegründung, in: Wagner, S. (Hrsg.), *Perspektiven in der Waldbau-Wissenschaft.*, Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Beiheft 1, 79-95
- Mosandl, R. (2007), *Geschichte der Wälder und Forste in Mitteleuropa*, in: *Natur und Mensch in Mitteleuropa im letzten Jahrtausend*, Rundgespräche der Kommission für Ökologie, 32, 47-64
- Mosandl, R., El Kateb, H. (1988): Die Verjüngung gemischter Bergwälder - praktische Konsequenzen aus 10jähriger Untersuchungsarbeit, *Forstw. Cbl.*, 107, 2-13
- Mosandl, R., Felbermeier B. (2001): Vom Waldbau zum Waldökosystemmanagement, *Forstarchiv*, 72, 145-151
- Möbngang, M. (2004): Der Krummzähne Tannenborkenkäfer. Eine Gefahr für die Tanne - auch bei uns?, *LWF Aktuell*, 43, 41
- Motta, R. (1996): Impact of wild ungulates on forest regeneration and tree composition of mountain forests in the Western Italian Alps, *For. Ecol. Manage.*, 88, 93-98
- Motta, R. (1999): Wild ungulate browsing, natural regeneration and silviculture in the Italian Alps, *Journal of Sustainable Forestry*, 8/2, 35-54
- Motta, R., Nola, P., Piussi, P., (1999): Structure and stand development in three subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy): *Global Ecology and Biogeography*, 8, 455-471
- Motta, R., Haudemand, J.-C. (2000): Protective Forests and Silvicultural Stability An Example of Planning in the Aosta Valley, *Mountain Research and Development*, 20/ 2, 180-187
- Münch, E. (1938): Untersuchungen über die Harmonie der Baumgestalt, *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik*, 86, 581-673
- Münder, K. (2005): Konkurrenzuntersuchungen und Wachstumsmodellierung in Waldumbaubeständen des Mittleren Erzgebirges, *Dissertation, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden*
- Münder, K., Schroeder, J. (2001): Modellierung von Konkurrenz und Zuwachs in Kiefern-Buchen-Umbaubeständen im Nordwestsächsischen Tiefland, *TU Dresden Fachrichtung Forstwissenschaften, Vortrag zu den Tharandter Hochschultagen 2001*
- Münder, K., Schildbach, M., Schröder, J. (2006): Konkurrenzquantifizierung durch geometrische Indizes, Bestandteil der Hilfe von Crocom 2.2, Programm zur Berechnung von Abständen und Konkurrenzindizes aus Einzelbaumlisten
- Müller, F. (2000): Risiko durch Sturm und Schnee, in: Möbmer et al. (Hrsg.), *Waldbaulich-ökonomische Entscheidungshilfen für eine rationelle Fichtenpflege*, unveröff. Abschlußbericht d. Proj. V40 des Kuratoriums für forstliche Forschung
- Müller, F. (2002): Modellierung von Sturm-, Schnee-, und Rotfäulerisiko in Fichtenbeständen auf Einzelbaumebene, *Dissertation an der Studienfakultät Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der TU München*, 175 S.
- Müller, G. (1977): Short note: Cross-fertilization in a conifer stand inferred from enzyme markers in seeds, *Silvae Genetica*, 26, 5-6, 223-226
- Müller-Starck, G., Stimm, B. (2007): Karl Gayers Mischwald aus genetischer Sicht, *LWF Wissen*, 58, 24-29

- Nagel, J. (1999): Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines Waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt,
- Neumann, J.v., Morgenstern, O. (1944): *Theory of games and economic behavior*, 625 S., Princeton University Press, Princeton
- Neumann, J.v., Morgenstern, O. (1961): *Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten*, 668 S., Physika, Würzburg
- Neumann, M., Starlinger, F. (2001): The significance of different indices for stand structure and diversity in forests, *For. Ecol. Manage.*, 145, 91-106
- Ni Dhubhain, A., Walshe, J., Bulfin, M., Keane, M., Mills, P. (2001): The initial development of a windthrow risk model for Sitka spruce in Ireland, *Forestry*, 74, 161-170
- Nicoll, B.C., Ray, D. (1996): Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions *Tree Physiology*, 16, 891-898
- Nicoll, B.C., Achim, A., Mochan, S., Gardiner, B.A. (2005): Does steep terrain influence tree stability? A field investigation, *Can. J. For. Res.*, 35, 2360-2367
- Nicoll, B.C., Gardiner, B.A., Rayner, B., Peace, A.J. (2006): Anchorage of coniferous trees in relation to species, soil type and rooting depth, *Can. J. For. Res.*, 36/7, 1871-1883
- Nielsen, C.C.N. (1990): Einflüsse von Pflanzabstand und Stammzahlhaltung auf Wurzelform, Wurzelbiomasse, Verankerung sowie die Biomasseverteilung im Hinblick auf die Sturmfestigkeit der Fichte, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 100, 279 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Nielsen, C.C.N. (1991): Zur Verankerungsökologie der Fichte, *Forst und Holz*, 7, 178-182
- Nielsen, C.C.N. (1995): Recommendations for stabilisation of Norway spruce stands based on ecological surveys, in: Coutts, M.P., Grace, J., *Wind and Trees, Selected papers from a conference held at Heriot-Watt University, Edinburgh, Juli 1993*, 424-435
- Nordfjell, T., Bacher, M., Eriksson, L., Kadlec, J., Stampfer, K., Suadicani, K., Suwala, M., Talbot, B. (2004): Operational Factors Influencing the Efficiency in Conversion, in: Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Skovsgaard, J.P., Sterba, H., v.Teuffel, K. (Hrsg.), *Norway Spruce Conversion - Options and Consequences, European Forest Institute Research Report 18*, 197-223, Brill, Leiden, Boston
- Nörr, R. (2003a): Planting - a risk for the stability of forest stands?, in: Ruck, B., Kottmeier, C., Mattheck, C., Quine, C., Wilhelm, G.: *Wind effects on trees, International Conference 2003 in Karlsruhe, Germany*, 281-288
- Nörr, R. (2003b): Wurzeldeformationen - ein Risiko für die Bestandesstabilität?, *Forstliche Forschungsberichte München*, 195, 196 S.
- Nörr, R., Baumer, M. (2002): Pflanzung - ein Risiko für die Bestandesstabilität?, *LWF Bericht*, 37, 59 S.
- Obermayer, F., (2005): Holzernte am Steilhang im kombinierten Holzernteverfahren, Vortrag im Rahmen der Exkursion der Schweizerischen Gebirgswaldgruppe, 21.08.05 - 24.08.05, Laubau
- Oesten, G. (1978): Untersuchungen zur Sozialisation von Nachwuchsmitgliedern für die Forstverwaltungen, Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg., 263 S.
- Offenthaler, I., Hochbichler, E. (2006): Estimation of root biomass of Austrian forest tree species - Schätzung der Wurzelbiomasse von österreichischen Waldbaumarten, *Austrian Journal of Forest Science*, 123, 65-86
- O'Hara, K.L. (2006): Multiaged forest stands for protection forests: concepts and applications, *Forest Snow and Landscape Research*, 80/1, 45-56
- Oliver, C.D., Larson, B.C. (1996): *Forest stand dynamics*, Update edition, 520 S., John Wiley & Sons, New York
- Olson, C.L. (1976): On Choosing a Test Statistic in Multivariate Analysis of Variance, *Psychological Bulletin*, 83/4, 579-586
- Olsthoorn, A.F.M., Bartelink, H.H., Gardiner, J.J., Pretzsch, H., Hekhuis, H.J., Franc, A. (Hrsg.) (1999): *Management of mixed-species forests: silviculture and economics*, 398 S., IBN-DLO, Wageningen
- Ott, E., Schönbächler, D. (1986): Die Stabilitätsbeurteilung im Gebirgswald als Voraussetzung für die Schutzwald-Überwachung und -Pfleger, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 137, 725-738
- Ott, E., Lüscher, F., Frehner, M., Brang, P. (1991): Verjüngungsökologische Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe, *Schweiz. Zeitschr. Forstwes.*, 142-11, 879 - 904
- Ott, E., Frehner, M., Frey, H.-U., Lüscher, P., (1997): *Gebirgsnadelwälder, Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung*, 287 S., Haupt, Bern, Stuttgart, Wien
- Otto, H.-J. (1994): *Waldökologie*, 391 S., Ulmer, Stuttgart

- Pausch, R. (2005): Ein System-Ansatz zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Waldstruktur, Arbeitsvolumen und Kosten in naturnahen Wäldern Bayerns, Forstliche Forschungsberichte München, 199, 300 S.
- Pausch, R., Ponitz, K. (2002): Harvesterleistung und Hiebsbedingungen, Forst & Technik, 4/2002, 10-14
- Pechmann, H.v. (1932): Beiträge zur Geschichte der Forstwirtschaft im oberbayerischen Hochgebirge, Forstw. Cbl., 54, 605-622, 646-661, 693-709, 721-734
- Peltola, H., Nykänen, M.-L., Kellomäki, S. (1997): Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge, For. Ecol. Manage., 95, 229-241
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H., Ikonen, V.-P. (1999): A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce and birch, Can. J. For. Res., 29, 647-661
- Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A., Granander, M. (2000), Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland, For. Ecol. Manage., 135, 143-153
- Penttinen, M., Lausti, A. (2004): The competitiveness and return components of NIPF ownership in Finland, Finnish J Bus Econ Spec, 2/2004, 143-156
- Pfeil, F.W.L. (1822), Grundsätze der Forstwirtschaft in Bezug auf die Nationalökonomie und die Staatsfinanzwissenschaft, Erster Band, Staatswirtschaftliche Forstkunde, 591 S., Darnmann, Züllichau, Freistadt
- Pflaumer, P. (1998): Investitionsrechnung, 3. Auflage, 246 S., Oldenbourg, München, Wien
- Picket, S.T.A. (1989): Space-for-time substitution as an alternative to long-term-studies, in: Likens, G.E., Long terms studies in ecology, 110-135, New York
- Plusczyk, N. (2000): Betriebswirtschaftliche Analyse der Konsequenzen einer Überführung eines fichtendominierten, gleichaltrigen Bestandes in eine ungleichaltrige Waldaufbauform, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, 101 S.
- Polge, H. (1960): Sensibilité relative du Sapin pectiné et de l'Épicéa commun aux coups de vent (Die relative Anfälligkeit von Abies alba und Picea abies für Windwurf): Revue Forestiere Francaise, 12, 637-642
- Polomski, J., Kuhn, N. (1998): Wurzelsysteme, 290 S., Haupt, Bern, Stuttgart, Wien
- Porter, R.B. (1973): An Empirical Comparison of Stochastic Dominance and Mean-Variance Portfolio Choice Criteria, Journal of Financial and Quantitative Analysis, 8, 587-608
- Porter, R.B., Gaumnitz, J.E. (1972): Stochastic Dominance vs. Mean-Variance Portfolio Analysis: An Empirical Evaluation, American Economic Review, 62, 438-446
- Pretzsch, H. (1995): Zum Einfluss des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 166 9/10, 190-201
- Pretzsch, H. (1996): Strukturvielfalt als Ergebnis waldbaulichen Handelns, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 167/11, 213-221
- Pretzsch, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums, 341 S., Parey, Berlin
- Pretzsch, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumsforschung, 414 S., Parey, Berlin
- Pretzsch, H. (2003): Diversität und Produktivität von Wäldern, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 174, 88-98
- Pretzsch, H. (2004): Rein- und Mischbestände unter dem Einfluss von Störfaktoren: Elastizität und Resilienz des Zuwachses, in: Forstwirtschaft im Dialog...gemeinsam die Zukunft gestalten!, Kongressbericht 61.Jahrestagung Deutscher Forstverein e.V., 25-28.09.2003 in Mainz , 382-395
- Pretzsch, H. (2005a): Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long-term experimental plots, Eur. J. Forest. Res., 124, 193-205
- Pretzsch, H. (2005b): Diversity and productivity in forests: evidence from long-term experimental plots. In: Scherer-Lorenzen et al. (Hrsg.), Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems, Ecological Studies, 176, 41-64, Springer, Berlin
- Pretzsch, H. (2006): Von der Standflächeneffizienz der Bäume zur Dichte-Zuwachs-Beziehung des Bestandes. Beitrag zur Integration von Baum- und Bestandesebene, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 177 10/11, 188-199
- Pretzsch, H., Kahn, M. (1998): Forschungsvorhaben "Konzeption und Konstruktion von Wuchs- und Prognosemodellen für Mischbestände in Bayern" Konzeption und Konstruktion des Wachstumsmodells Silva 2.2 - Methodische Grundlagen, Abschlußbericht W28 Teil 2, 279 S., Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Ludwig-Maximilians-Universität, München
- Pretzsch, H., Biber, P., Durský, J. (2002): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation, For. Ecol. Manage., 162, 3-21
- Preuhsler, T. (1981): Ertragskundliche Merkmale oberbayerischer Bergmischwald-Verjüngungsbestände auf kalkalpinen Standorten im Forstamt Kreuth, Forstw. Cbl., 100, 313-345

- Preuhler, T. (1991): Sturmschäden in einem Fichtenbestand der Münchener Schotterebene, *AFZ*, 21, 1098-1103
- Prien, S., Leydolph, M. (1974): Ursachen und begünstigende Faktoren für Sturmschäden im Mittelgebirge, *Beiträge f. d. Forstwissenschaft*, 2, 69-76
- Prietzl, J. (2007a): Effekte verringerter Schalenwildichte auf Verjüngung, Mikroklima und Schneedynamik an drei Hauptdolomitstandorten im montanen Bergmischwald der Bayerischen Alpen, Vortrag auf dem 11. Statuseminar des Kuratoriums für Forstliche Forschung, 2007
- Prietzl, J. (2007b): Auswirkung des Schalenwilds auf Verjüngung, Bodenzustand, Mikroklima und Schneedynamik im Bergmischwald der Bayerischen Kalkalpen, Vortrag auf dem 5. Schutzwaldsymposium: "Schutzwaldmanagement - Zukunftsvorsorge für den Alpenraum", am 14.09.2007 in Garmisch-Partenkirchen
- Prietzl, J., Ammer, C. (2008): Montane Bergmischwälder der Bayerischen Kalkalpen: Reduktion der Schalenwildichte steigert nicht nur den Verjüngungserfolg, sondern auch die Bodenfruchtbarkeit, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 179 5/6, 105-113
- Prić, B. (1969): Über den Einfluß von Stammform und Standort auf die Sturmfestigkeit der Fichte, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 120, 145-154
- Puhe, J. (2003): Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands - a review, *For. Ecol. Manage.*, 175, 253-273
- Quinn, G.P., Keough, M.J. (2002): *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*, 537 S., Cambridge University Press, Cambridge
- Quirk, J.P., Saposnik, R. (1962): Admissibility and Measurable Utility Functions, *Review of Economic Studies*, 29, 140-146
- Rammig, A., Fahse, L., Bugmann, H., Bebi, P. (2005): Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps, *For. Ecol. Manage.*, 222, 123-136
- Rebel, K. (1924): *Waldbauliches aus Bayern*, II. Band, 228 S., Hubers Verlag, Diessen vor München
- Rebel, K. (1930): *Waldbau und Wirtschaftlichkeit*, in: Jahresbericht des Deutschen Forstvereins
- Redde, N. (2002): Risiko von Sturm- und Folgeschäden in Abhängigkeit vom Standort und von waldbaulichen Eingriffen bei der Umwandlung von Fichtenreinbeständen, Dissertation, Berichte d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A. Band 179, Universität Göttingen
- Redde, N., v Lüpke, B. (2004): Untersuchung zum Windwurfrisiko bei einzelstammweiser Holzernte in Fichtenaltbeständen auf gut durchwurzelbaren Böden im Solling/Niedersachsen, *Forst und Holz*, 59, 270-277
- Regan, H.M., Ben-Haim, Y., Langford, B., Wilson, W.G., Lundberg, P., Andelman, S.J., Burgman, M.A. (2005): Robust decision-making under severe uncertainty for conservation management, *Ecological Applications*, 15/4, 1471-1477
- Reineke, L.H. (1933): Perfecting a stand density index for even-aged forests, *Journal Agric. Res.*, 46, 627-638
- Reininger, H. (1982): Das Phänomen der abnehmenden relativen Schirmfläche, *Forst und Holz*, 37/4, 93-99
- Reininger, H. (1987): Zielstärken-Nutzung oder die Plenterung des Alterklassenwaldes, 163 S., Österreichischer Agrarverlag, Wien
- Reininger, H. (1990): Bestandesstrukturierung schon im Durchforstungsalter, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 141/12, 1011-1024
- Richardson, L. (1994), *Writing: A method of inquiry*, in: Denzin, N.K., Lincoln, Y.S. (Hrsg.): *Handbook of qualitative research*, 516-529, Sage, Thousand Oaks
- Richter, A. (1950): *Heinrich Cotta. Leben und Werk eines deutschen Forstmannes*, 247 S., Neumann, Radebeul, Berlin
- Richter, J. (1994): Neue Aspekte der Fichtendurchforstung, *AFZ*, 49/12, 632-637
- Richter, J. (1998): Überschätzter H/D-Wert?, *AFZ*, 791-792
- Richter, J. (2003): Wurf- und Bruchschäden in Fichtenbeständen, *Forstarchiv*, 74, 166-170
- Rieder, A. (1997): Weit- oder Dichtstand - was verringert Sturmschäden?, *Österreichische Forstzeitung*, 7, 25-28
- Rigling, D. (2005): Wie wirken sich Fäulebefall an Stamm- und Wurzeln auf die Sturmempfindlichkeit aus und welche Erreger sind beteiligt?, in: Indermühle, M., Raetz P., Volz, R., *LOTHAR. Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6*, Umwelt-Materialien Nr. 184, 60-65, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Robichek, A.A., Myers, S.C. (1966): Conceptual Problems in the use of risk-adjusted discount rates, *Journal of Finance*, 21, 727-730
- Roeder, A. (1991): Zum Risikomanagement in Forstbetrieben, *Forst und Holz*, 19, 533-535
- Rohmeder, E. (1972): *Das Saatgut in der Forstwirtschaft*, 273 S., Parey, Hamburg, Berlin

- Röhrig, E. (1966): Die Wurzelentwicklung der Waldbäume in Abhängigkeit von den ökologischen Verhältnissen, *Forstarchiv*, 37/10, 217-229
- Röhrig E., Bartsch N. (1992): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Band 1: Der Wald als Vegetationsform und seine Bedeutung für den Menschen. 6.Aufl. , 350 S., Parey, Hamburg, Berlin
- Röhrig E., Bartsch N., Lüpke, Burghard von (2006): Waldbau auf ökologischer Grundlage. 7. Auflage, 479 S., Ulmer, Stuttgart
- Roschke, G., Sturmwurf und Sturmbruch im Altholzbestand, *AFZ*, 1256-1261
- Rosenzweig, C., Karoly D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C., Rawlins, S., Imeson, A. (2008): Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change, *Nature*, 453, 353-357
- Rothe, A. (1997), Einfluß des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald, *Forstliche Forschungsberichte München*, 163, 174 S.
- Rothschild, M., Stiglitz, J.E. (1970): Increasing Risk: I. A Definition, *Journal of Economic Theory*, 2/3, 225-243
- Rottmann, M. (1983): Schneebruchschäden bei Fichten - Ergebnisse einer Bestandsaufnahme und Analyse, dargestellt am Beispiel der Schneebruchschäden von 1979 und 1980 im Stiftungswald der Ludwig-Maximilians-Universität München, Dissertation an der Universität München, 256 S., München
- Rottmann, M. (1985): Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen, Beiträge zur Beurteilung der Schneebruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung schneegesetzter Nadelholzbestände, 159 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Rottmann, M. (1986): Wind- und Sturmschäden im Wald, Beiträge zur Beurteilung der Bruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung sturmgeschädigter Nadelholzbestände, 128 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Rüegg, D., Nigg, H. (2003): Mehrstufige Verjüngungskontrollen und Grenzwerte für die Verbissintensität, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 154/8, 314-321
- Ruel, J.C., Achim, A., Gardiner, B., Larouche, C. (2003): Effect of precommercial thinning on balsam fir resistance to windthrow, in: Ruck, B., Kottmeier, C., Mattheck, C., Quine, C., Wilhelm, G., Wind effects on trees, *International Conference 2003 in Karlsruhe, Germany*, 261-268, Karlsruhe
- Säfar, J. (1954): Die Entwicklung des Tannenjungwuchses in den Plenterwäldern Kroatiens, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 105-11/12, 592-613, 712-733
- Saldern, Matthias von (1992): Qualitative Forschung - quantitative Forschung: Nekrolog auf einen Gegensatz, *Empirische Pädagogik* 6, 377-399
- Sánchez Orois, S., Vilčko, F. (2002): Bewertung und Optimierung von Vornutzungen in Fichtenbeständen, *Forstw. Cbl.*, 121, 250-264
- SAS Institute (2002): SAS 9.1 Help and Documentation, Your complete Guide to Syntax, How to, Examples, Procedures, Concepts, Whats New and Tutorials
- Sauter, U. (2002): Bergwalddynamik, aktuelle Inventurergebnisse, in: Eggensberger, P. (Hrsg.) 4. Bergwaldkonferenz zum Bergwaldprotokoll der Alpenkonvention, 27.-29.Mai 2002, Grainau, Tagungsband, 40-45
- Schädelin, W. (1927): Plenterdurchforstung, *Schweiz. Z. Forstwes.*, 78 6/7, 183-191
- Schädelin, W. (1934): Die Durchforstung als Auslese- und Veredelungsbetrieb höchster Wertleistung, Bern, Leipzig
- Schall, P. (1998): Ein Ansatz zur Modellierung der Naturverjüngungsprozesse im Bergmischwald der östlichen Bayerischen Alpen, *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 155*, 213 S., Göttingen
- Schanz, H., Spies G.V. und Oesten, G. (1999), *Forstwissenschaft oder Forstwissenschaften: Interdisziplinarität zwischen Zwangsläufigkeit, Vision und Utopie*, *Forstw. Cbl.*, 118, 368-380
- Scherrer, H.U . (1993): Projekt zur flächenhaften Erfassung und Auswertung von Sturmschäden, *AFZ*, 712-714
- Scheuch, E. (1973): Das Interview in der Sozialforschung, in: König, R. (Hrsg.), *Handbuch der empirischen Sozialforschung, Band 2, Grundlegende Methoden und Techniken*, 66-190, tb, Stuttgart
- Schletter, A. (1954): Betrachtung der Weckschen Methode der Wachstumsdiagnose, *Archiv für Forstwesen*, 3, 193-205
- Schmid I., Kazda, M. (2001): Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*, *Can. J. For. Res.*, 31, 539-548
- Schmid I., Kazda, M. (2002): Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils, *For. Ecol. Manage.*, 159, 37-47

- Schmid, F., Trede, M. (2006): Finanzmarktstatistik, 267 S., Springer, Berlin Heidelberg
- Schmid-Haas, P. (1991): Ursächliche Zusammenhänge zwischen Nadelverlust, Zuwachs, Sturmgefährdung und Fäule, Schweiz. Z. Forstwes., 142, 505-512
- Schmid-Haas, P. (1994): Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität. Fäule in den Stützwurzeln als eine der Ursachen, Schweiz. Z. Forstwes., 145, 371-387
- Schmid-Haas, P. (2002): Zur Waldinventur gehört die Überwachung der Vitalität, Schweiz. Z. Forstwes., 153/2, 68-75
- Schmid-Haas, P., Bachofen, H. (1991): Die Sturmgefährdung von Einzelbäumen und Beständen, Schweiz. Z. Forstwes., 142/6, 477-504
- Schmidt, U.E. (2002): Der Wald in Deutschland im 18. und 19. Jahrhundert: das Problem der Waldressourcenknappheit in Deutschland, eine historisch-politische Analyse, 433 S., Conte-Forst, Saarbrücken
- Schmidt, M., Bayer, J., Kändler, G. (2005): Sturm "Lothar" - Ansatz einer inventurbasierten Risikoanalyse, FVA-Einblick der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2/05, 12-16
- Schmidt, M., Bayer, J., Kändler, G. (2006): Sturm "Lothar" - Ansatz einer inventurbasierten Risikoanalyse, DVFFA - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2006: Tagungsband, 5-20
- Schmidt-Vogt, H. (1989): Die Fichte, Band II/2: Krankheiten, Schäden, Fichtensterben, 607 S., Parey, Hamburg Berlin
- Schmidt-Vogt, H. (1991): Die Fichte, Band II/3: Waldbau, Ökosysteme, Urwald, Wirtschaftswald, Ernährung, Düngung, Ausblick, 781 S., Parey, Hamburg Berlin
- Schmidt-Vogt, H., Wütherich, G., Deichner P. (1987): Untersuchungen zur Sturmstabilität von Fichten und Tannen in Fichten-Tannen-Mischbeständen auf verschiedenen Standorten Süddeutschlands, Allg. Forst- u. J.-Ztg., 158, 42-50
- Schmitt, M. (1994a): Waldwachstumskundliche Untersuchungen zur Überführung fichtenreicher Baumhölzer in naturnahe Mischbestände mit Dauerwaldcharakter. Dargestellt am Beispiel eines seit 40 Jahren naturgemäß bewirtschafteten Fichten-Kiefern-Altbestandes mit Tannen-Buchen Voranbau in der Münchner Schotterebene, Mitteilungen aus der Waldwachstumsforschung in Bayern, 4, 223 S.
- Schmitt, M. (1994b): Von faulen Gesellen und Spätberufenen. Neue Ergebnisse aus der Waldwachstumsforschung zum Thema "Zielstärkennutzung und Umsetzungsverhalten bei der Fichte", Der Dauerwald. Zeitschrift für naturgemäße Waldwirtschaft, 11, 4-28
- Schnell, A., Bauer, A. (2005): Die zweite Bundeswaldinventur 2002: Ergebnisse für Bayern, LWF Wissen, 49, 102 S.
- Schnell, R., Hill P., Esser, E. (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung, 7. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, 589 S., Oldenbourg, München, Wien
- Schodterer, H. (1998): Herleitung von Sollpflanzenzahlen als Beurteilungskriterium für die Auswertung der Verjüngungs- und Verbißaufnahmen der österr. Waldinventur 1992-1996, Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur Wien, 12, 281-287
- Schönenberger, W. (2001): Cluster afforestation for creating diverse mountain structures -a review, For. Ecol. Manage., 145, 121-128
- Schönenberger, W., Brang, P. (2001): Structure of mountain forests Assessment, impacts, management, modeling, For. Ecol. Manage., 145, 1-2
- Schönenberger, W., Brang, P. (2006), Wiederbewaldung von "Vivian"-Windwurfflächen im Gebirgswald, Wald und Holz, 7/06, 38-41
- Schönenberger, W., Angst, C., Bründl, M., Dobbertin, M., Duelli P., Egli, S., Frey, W., Gerber, W., Kupferschmid Albisetti, A.D., Lüscher, P., Senn, J., Wermelinger, B., Wohlgemuth, Th. (2003): Vivians Erbe - Waldentwicklung nach Windwurf im Gebirge, Merkblatt für die Praxis, 36, WSL, Birmensdorf
- Schreyer, G., Rausch, V. (1977): Der Schutzwald in der Bergregion Miesbach, Forstw. Cbl., 96, 100-108
- Schreyer, G., Rausch, V. (1978): Der Schutzwald in der Alpenregion des Landkreises Miesbach, Bayer. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 116 S.
- Schuemer, R., Ströhlein, G., Gogolok, J. (1990): Datenverarbeitung und statistische Auswertung mit SAS, Band II: Komplexe statistische Analyseverfahren, 435 S., Fischer, Stuttgart
- Schütz, J-P. (1969): Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge, Beiheft zur schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen, 44, 114 S., Bühler, Zürich
- Schütz, J-P. (1994): Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa, Allg. Forst- u. J.-Ztg., 165 5/6, 106-114

- Schütz, J-P. (1996): Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb, Schweiz. Z. Forstwes., 147, 315-349
- Schütz, J-P. (1998): Praktische Bedeutung der Überführung für die Umsetzung der Plenteridee, in: Hanewinkel (Hrsg.), Überführung von Altersklassenwäldern in Dauerwälder, Berichte Freiburger forstliche Forschung 8, 1-13
- Schütz, J-P. (1999a): Praktische Bedeutung der Überführung für die Umsetzung der Plenteridee, Forst und Holz, 54/4, 104-108
- Schütz, J-P. (1999b): Neue Waldbehandlungskonzepte in Zeiten der Mittelknappheit: Prinzipien einer biologisch rationalen und kostenbewussten Waldpflege, Schweiz. Z. Forstwes., 150, 451-459
- Schütz, J-P. (2001a): Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests, For. Ecol. Manage., 151, 87-94
- Schütz, J-P. (2001b): Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder, 207 S., Parey, Berlin
- Schütz, J.-P. (2002): Polyvalenter Waldbau, Skript zur Vorlesung Waldbau IV, 143 S., ETH Zentrum, Zürich
- Schütz, J-P. (2004): Die situative Durchforstung: ein an der Extensivierung der Kosten orientiertes Durchforstungskonzept, in: Brang, P. (Hrsg.), Biologische Rationalisierung im Waldbau, Jahrestagung der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, 112 S., Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf
- Schütz, J-P. (2005): Einfluß verschiedener Faktoren auf Art und Ausmaß der Sturmschäden, in: Indermühle, M., Raetz P., Volz, R., LOTHAR. Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6, Umwelt-Materialien Nr. 184, 29-38, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
- Schütz, J-P., Götz, M., Schmid, W., Mandallaz, D. (2006): Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture, Eur. J. Forest. Res., 125/3, 291-302
- Sekot, W. (1990): Forsteinrichtungstechnische Betrachtung der Fichte in Österreich, Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 107 / 1, 33-55
- Seitz, R. (2001): Die Beurteilung von Bergwaldbeständen unter Naturschutz-Aspekten - Ergebnisse eines Pilotprojektes zur Bestimmung der Landeskulturellen Leistungen des Bergwaldes, in: Biotopkartierung in Bergregionen & Beiträge der Ostalpin-Dinarischen Gesellschaft für Vegetationskunde in Pontresina., Sauteria, Band 11, 75-84, Just, Dorfbeuern, Salzburg, Brüssel
- Seitz, R., Ammer, U. (2000): Untersuchungen zur Bedeutung von Nutzungs- und Pflegeeingriffen zur Aufrechterhaltung der landeskulturellen Leistungen von Bergwaldbeständen im Alpenraum, TU München, Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz, Abschlußbericht des Interreg II Projektes, 78 S. + Anhang
- Shannon, C.E., (1949): The mathematical theory of communication, in: Shannon, C.E., Weaver, W. (Hrsg.), The mathematical theory of communication, 3-91, University of Illinois Press, Urbana
- Sharpe, W.F. (1964): Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk, The Journal of Finance, 19/3, 425-442
- Sharpe, W.F. (1966): Mutual Fund Performance, The Journal of Business, 39/1, Part 2: Supplement on Security Prices, 119-138
- Sharpe, W.F. (1994): The Sharpe Ratio, The Journal of Portfolio Management, Fall 1994, 49-58
- Sloboda, B., Gaffrey, D., Matsumura, N. (1993): Regionale und lokale Systeme von Höhenkurven für gleichaltrige Bestände, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 164, 225-228
- Slodicak, M. (1995): Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage, in: Coutts, M.P., Grace, J.: Wind and Trees, Selected papers from a conference held at Heriot-Watt University, Edinburgh, Juli 1993, 436-447
- Slodicak, M., Novak, J. (2006): Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion, For. Ecol. Manage., 224, 252-257
- Spathelf, P. (1999): Orientierungshilfe zur Prognose und Steuerung des Wachstums von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst) und Tannen (*Abies alba* Mill.) in Überführungswäldern mit Hilfe der relativen Kronenlänge, Schriftenreihe Freiburger forstliche Forschung, 4, 192 S.
- Spellmann, H. (1995): Vom strukturarmen zum strukturreichen Wald: waldbauliche Planungs- und Handlungsaspekte für die Niedersächsische Landesforstverwaltung, Forst und Holz, 50, 35-44
- Spellmann, H., Nagel, J. (1996): Zur Durchforstung von Fichte und Buche, Allg. Forst- u. J.- Ztg., 167 1/2, 6-15
- Spiecker, H. (2003): Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe - temperate zone, Journal of Environmental Management, 67, 55-65

- Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Skovsgaard, J.P., Sterba, H., v.Teuffel, K.(Hrsg.) (2004): Norway Spruce Conversion - Options and Consequences, 269 S., Brill, Leiden, Boston
- Spremann, K. (1996): Wirtschaft, Investition und Finanzierung, 5.Aufl., 739 S., Oldenbourg, München Wien
- Stacey G.R., Belcher, R.E., Wood, C.J., Gardiner, B.A. (1994): Wind flows and forces in a model spruce forest, *Boundary-Layer Meteorology*, 69, 311-334
- Stampfer, K. (2001): Leistungsdaten Harvester: Untersuchungsergebnisse aus Aufnahmen bei Geländeneigungen von 20 -60%, Schriftenreihe des Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, 15 S.
- Stampfer, K. (2002): Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge, Habilitationsschrift an der Universität für Bodenkultur Wien, 96 S.
- Steger, E. (1999): Waldwachstumskundliche Untersuchungen zur Überführung fichtenreicher Baumhölzer in naturnahe Mischbestände mit Dauerwaldcharakter. Erste Wiederholungsaufnahme eines seit mehr als 40 Jahren naturgemäß bewirtschafteten Fichten-Kiefern-Altbestandes in der Münchner Schotterebene, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, 106 S.
- Sterba, H. (1991): Forstliche Ertragslehre, Vorlesung von H. Sterba an der Universität für Bodenkultur Wien, 160 S.
- Sterba, H. (1999): 20 Jahre Zielstärkennutzung in der "Hirschlacke", *Stift Schlägl, Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 170/9, 170-175
- Sterba, H., Zingg, A. (2001): Target diameter harvesting - a strategy to convert even-aged forests, *For. Ecol. Manage.*, 151, 95-105
- Steyrer, G., Tomiczek, C. (1998): Höhere Sturmschadensgefahr durch Wurzelfäule, *Österreichische Forstzeitung*, 4, 19ff
- Stocker, R. (2007): Gedanken zur Anzeichnung im Dauerwald, *Der Dauerwald. Zeitschrift für naturgemäße Waldwirtschaft*, 36, 28-34
- Stokes, A., Fitter, A.H., Coutts, M.P. (1995): Responses of young trees to wind: effects on root growth, in: Coutts, M.P., Grace, J., *Wind and Trees, Selected papers from a conference held at Heriot-Watt University, Edinburgh*, Juli 1993, 264-275
- Stolz, M.M. (2007): Der Einfluß von Weidevieh und Schalenwild auf die Verjüngung im Bergmischwald der Chiemgauer Alpen - Ergebnisse eines Versuches nach 20-jähriger Laufzeit, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Waldbau der TU München, 150 S.
- Stott, P.A., Stone, D.A., Allen, M.R. (2004): Human contribution to the European heatwave of 2003, *Nature*, 432, 610-614
- Strütt, M. (1991): Zur wirtschaftlichen Bedeutung von Stabilitäts- und Holzqualitätszielen in der Fichtenwirtschaft, *Forstarchiv*, 62, 56-63
- Suda, M. (1990): Die Entwicklung der Schalenwildbestände im bayerischen Alpenraum seit Anfang des 19. Jahrhunderts, in: *Zustand und Gefährdung des Bergwaldes, Rundgespräch der Kommission für Ökologie der Bay. Akademie der Wissenschaften*, 30-39
- Sutton, R.F. (1969): Form and development of conifer root systems, 130 S., Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal
- Suzuki, T. (1983): Gentan-Wahrscheinlichkeit, Vorhersagemodelle für die Entwicklung des Normalwaldes und für die Planung des Holzaufkommens. In: *Beiträge zur biometrischen Modellbildung in der Forstwirtschaft, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, 76, 7-22, Sauerländer's, Frankfurt
- Szwagrzyk, J., Szewczyk, J., Bodiarczyk, J. (2001): Dynamics of seedling banks in beech forest: results of a 10-year study on germination, growth and survival, *For. Ecol. Manage.*, 141, 237-250
- Talkkari, A., Peltola, H., Kellomäki, S., Strandman, H. (2000): Integration of component models from the tree, stand and regional levels to assess the risk of wind damage at forest margins, *For. Ecol. Manage.*, 135, 303-313
- Teuffel, K.v., Baumgarten, M., Hanewinkel, M., Konold, W., Sauter, U.H., Spiecker, H., Wilpert, K.v. (2005): *Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*, 422 S., Springer, Berlin Heidelberg
- Thieme, F. (2007): Helikopter im Schutzwald an der Weißwand, *Forst & Technik*, 6/2007, 10-12
- Thomasius, H. (1988a): Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme sowie deren Beeinflußbarkeit durch forstwirtschaftliche Maßnahmen (Teil 1): *AFZ*, 38, 1037-1043
- Thomasius, H. (1988b): Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme sowie deren Beeinflußbarkeit durch forstwirtschaftliche Maßnahmen (Teil 2): *AFZ*, 39, 1064-1068
- Thomasius, H. (1990): *Waldbau 1, Allgemeine Grundlagen des Waldbaus, Lehrbrief für das Hochschulstudium Forstingenieurwesen*, 190 S., TU Dresden

- Thomasius, H., Schmidt, P.A. (1996): Wald Forstwirtschaft und Umwelt, Buchwald, K., Engelhard, W. (Hrsg.): Umweltschutz - Grundlagen und Praxis, 10, Economica, Bonn
- Thomson, T.A. (1991): Efficient combinations of timber and financial market investments in single-period and multiperiod portfolios, *Forest Science*, 37, 461-480
- Thürmer (1954): Der Waldbau im Hochgebirge, *AFZ*, 36/37, 393-395
- Tobin, J. (1958): Liquidity preferences as a behavior towards risk, *The Review of economic studies*, 25, 65-86
- Tockhorn, T., Riese, M. (1986): Der Wald am Grünten, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, 130 S.
- Trepl, L. (2005): Allgemeine Ökologie, Band 1: Organismus und Umwelt, Peter Lang, Frankfurt, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien
- Tüxen, R. (1956): Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung, *Angewandte Pflanzensoziologie*, 13, 5-42
- Ulrich, B. (1981): Zur Stabilität von Waldökosystemen, *Forstarchiv*, 52, 165-169
- Utschig, H. (1997): Umwandlung von Fichtenreinbeständen in Mischbestände - Eine ökologische und ökonomische Bewertung, *Allg. Forst- u. J.- Ztg.*, 168 6-7, 124-127
- Vahs, D., Schäfer-Kunz, J. (2005): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 4. Aufl., Stuttgart, 625 S.
- Valinger, E., Fridmann, J. (1997), Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics, *For. Ecol. Manage.*, 97, 215-222
- Valinger, E., Fridman, J. (1999): Models to Assess the Risk of Snow and Wind Damage in Pine, Spruce, and Birch Forests, *Environmental Management*, 24/2, 209-217
- Valinger, E., Lundqvist, L., Bondesson, L. (1993): Assessing the Risk of snow and wind damage from tree physical characteristics, *Forestry*, 66/3, 249-260
- Valkonen, S., Valsta, L. (2001): Productivity and economics of mixed two-storied spruce and birch stands in Southern Finland simulated with empirical models., *For. Ecol. Manage.*, 140, 133-149
- Vanomsen, P. (2006): Der Einfluß der Durchforstung auf die Verankerung der Fichte hinsichtlich ihrer Sturmresistenz, Dissertation an der ETH Zürich, 248 S., Zürich
- Vickson, R.G., Altmann, M. (1977): On the relative effectiveness of stochastic dominance rules: extension to decreasingly risk-averse utility functions, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 12/1, 73-84
- Vospernik, S. (2006): Probability of Bark Stripping Damage by Red Deer (*Cervus elaphus*) in Austria, *Silva Fennica*, 40/4, 589-601
- Vyskot, M. (1981): Biomass of the tree layer of a spruce forest in the Bohemian Uplands, 396 S.
- Wagner, C. (1914): Die Grundlagen der räumlichen Ordnung im Walde, 3. erg. Auflage, 384 S., Laupp, Tübingen
- Wagner, J.E., Rideout, D.B. (1991): Evaluating Forest Management Investments: The Capital Asset Pricing Model and the Income Growth Model, *Forest Science*, 37/6, 1591-1604
- Wagner, K. (2004): "Naturgefahrenbewusstsein und -kommunikation am Beispiel von Sturzfluten und Rutschungen in vier Gemeinden des Bayerischen Alpenraums", Dissertation an der Studienfakultät Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement der TU München, 317 S.
- Wagner, S. (2000), Zukünftige Perspektiven waldbaulicher Forschung, in: Wagner, S. (Hrsg.), Perspektiven in der Waldbau-Wissenschaft. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Beiheft 1, 112-133
- Wagner, S. (2004): Klimawandel - einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien, *Forst und Holz*, 59/8, 394-398
- Wagner, S., Fischer, H. (2007): Klimawandel - Wie reagiert der Waldbau?, *proWALD*, Magazin des Deutschen Forstvereins, März 2007, 5-7
- Wald, K. (1998): Strukturpflege im Schutzwald. Waldbauliche und biologische Überlegungen, in: Forstdirektion Oberbayern (Hrsg.), Strukturpflege im Schutzwald, Unterlagen zur Fortbildungsveranstaltung am 22./23.06.1998
- Walentowski, H., Ewald, J., Fischer, A., Kölling, C., Türk, W. (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften, 441 S., Geobotanica, Freising
- Waller, L.A., Smith, D., Childs, J.E., Real, L.A. (2003), Monte Carlo assessments of goodness-of-fit for ecological simulation models, *Ecological Modelling*, 164, 49-63
- Wasser, B., Frehner, M. (1996): Wegleitung Minimale Pflegemaßnahmen für Wälder mit Schutzfunktion, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
- Webb, E., Campbell, D.T., Schwartz, R.D., Sechrest, L. (1966), *Unobtrusive Measures: Nonreactive Research in the Social Sciences*, 225 S., Rand McNally, Chicago

- Weber, H.(Hrsg) (1926): Handbuch der Forstwissenschaft, Begr. V. Tuisko Lorey, Band 1, Forstwissenschaft und Forstwirtschaft im Allgemeinen, Standortslehre, Forstzoologie, Forstbotanik, 916 S., Laupp, Tübingen
- Weber, M. (1991): Waldbauliche Untersuchungen zu den neuartigen Waldschäden in jungen Fichtenbeständen Ostbayerns, Forstliche Forschungsberichte München, 109, 121 S.
- Weber, M.-W., (2002): Portfeuille- und Real-Optionspreis-Theorie und forstliche Entscheidungen, Schriften zur Forstökonomie, 23, 197 S., Sauerländer's, Frankfurt
- Weck, J. (1948): Waldgefügetypen, AFZ, 3/10, 85-89
- Weck, J. (1950): Über die Brauchbarkeit von Wachstumsgesetzen als diagnostisches Hilfsmittel der Waldwachstumskunde, Forstw. Cbl., 69, 585-605
- Weck, J. (1958): Das Umsetzen unserer Waldbäume, AFZ, 13, 717-720
- Wehrli, A., Brang, P., Maier, B., Duc, P., Binder, F., Lingua, E., Ziegner, K., Kleemayr, K., Dorren, L. (2007): Schutzwaldmanagement in den Alpen - eine Übersicht, Schweiz. Z. Forstwes., 158/6, 142-156
- Weih, U., Wilhelm, G.J., Roos, R. (1999): Wie sich unbehandelte Fichtenbestände aus Naturverjüngung entwickeln, AFZ-Der Wald, 54/4, 172-175
- Wiedemann, E. (1937): Die Fichte 1936, Erweiterte Fortführung der Berichte von Geheimrat Schwappach über die preußischen Versuchsflächen, 248 S., Schaper, Hannover
- Wienert, M. (2008): Integrierte Kommunikation in Milchverarbeitenden Unternehmen, Dissertation an der Professur für Betriebswirtschaftslehre für Milch- und Ernährungsindustrie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan
- Williams, M.R.W. (1981): Decision-Making in Forest Management, 143 S., Research Studies Pr., Chichester
- Wilson, J.S., Oliver, C.D. (2000): Stability and density management in Douglas-fir plantations, Can. J. For. Res., 30/6, 910-920
- Wippermann, C., Möhring, B. (2001): Exemplarische Anwendung der Portfeuilletheorie zur Analyse eines forstlichen Investments, Forst und Holz, 56, 267-272
- Wirth, C., Schumacher, J., Schulze, E.-D. (2004): Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe - a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation, Tree Physiology, 24, 121-139
- Wittwer, J.W., (2004): Monte Carlo Simulation in Excel: A Practical Guide, From Vertex42.com, Download am 31.01.2008 10:11, <http://vertex42.com/ExcelArticles/mc/>
- Wöhe, G. (2005): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 22. neubearb. Aufl., 1220 S., Vahlen, München
- Wolf, K. (2008), Verjüngung von Fichtenreinbeständen in der Bergmischwaldstufe, Masterarbeit am Lehrstuhl für Waldbau der TU München, 93 S.
- Wölfle, M. (1936): Sturmschäden im Wald I. Mitteilung, Forstw. Cbl., 58, 605-617
- Wühlisch (2006): Arbeitstagung zu Klimawandel und genetischer Diversität, AFZ-Der Wald, 15/2006, 828-829
- Wunder, J., Brang, P. (2003), Fichtenverjüngung im Gebirgswald: Erfolgskontrolle in Schlitzen, Informationsblatt Forschungsbereich Wald, 13, 1-3
- Wykoff, W.R., Crookston, N.L., Stage, A.R. (1982): User's Guide to the stand prognosis model, 112 S., U.S. Dep. Of Forestry, Ogden, Utah
- Zeller, E. (1977): Pflege von Fichtenaufforstungen im Gebirge, Bündnerwald, 30, 197-203
- Zeller, E. (1982): Stabilitätspflege im Gebirgswald, Bündnerwald, 35, 304-325
- Zeller, E. (1996): Probleme im Gebirgswald lösen, Wiederbewalden, Stabilisieren, Verjüngen, Sanieren, Bericht Gebirgswaldprojekt II, Nr. 5A, Interkantonale Försterschule Maienfeld, 55 S., Maienfeld
- Zenke, B. (1985): Der Einfluß abnehmender Bestandesvitalität auf Reichweite und Häufigkeit von Lawinen, Forstw. Cbl., 104, 137-145
- Zhu, J.-J., Li, F.-Q., Gonda, Y., Takeshi, M., Masashi, Y. (2003a): Effects of thinning on wind damage in Pinus thunbergii plantation, Journal of Forestry Research (Harbin): 14/1, 1-8
- Zhu, J.-J., Takeshi, M., Li, F.-Q., Gonda, Y. (2003b): Assessment of Effects of Thinning on Wind Damage in Pinus thunbergii plantations, in: Ruck, B., Kottmeier, C., Mattheck, C., Quine, C., Wilhelm, G.: Wind effects on trees, International Conference 2003 in Karlsruhe, Germany, 295-302, Karlsruhe
- Zierhut, M. (2003): Die Geschichte der Traunsteiner Salinenwälder Forstliche Forschungsberichte München, 194, 661 S.
- Zimmermann, K., Zwingmann W. (2001): Der Schutzwald am Grünten. Analyse der Schutzfähigkeit von Verjüngung und Altbestand, Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität München, 180 S., München

10 Anhang

Tab. 10.1a: Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Sturmschäden – Teil 1: Einzelbaumfaktoren

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor			Gesundheitszustand & Schäden
			Baumhöhe	h/d-Wert	Kronenlänge	
1967	Bosshard	Untersuchung der Sturmschäden von 1967 in der Schweiz (Befragung, Beobachtungen)				Rotfäule Bäume schadanfällig: fielen z.T. zuerst, bevor ganzer Bestand sich aufföste
1969	Bazzigher, Schmid	Sturmschaden und Fäule (1967er Sturm in der Schweiz)				Es gibt kein Bestandesmerkmal, das sich deutlicher auf die Sturmempfindlichkeit ausgewirkt hätte als der Anteil fäulekranker Bäume im Bestand
1969	Prpić	Sturmschäden im Lehrwald der ETH 1967		Kollektiv der stehengebliebenen Bäume mit signifikant niedrigerem h/d-Wert und Wurzelanlaufquotient als Kollektiv der geworfenen	Geworfene Bäume mit tendenziell größerer Krone	
1974	Mitscherlich	Folgenungen aus Sturmschäden in der Schweiz 1967 und Bayern/Baden-Württemberg 1972	Windgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Höhe über dem Boden nach logarithmischem Windgesetz zu	Bäume mit niedrigerem h/d-Verhältnis haben geringere Schwingungsamplituden		
1986	Rottmann	Literaturstudien	Größere Höhe bedeutet größere Sturmgefährdung, ab 15-20m deutliche Zunahme; ab 20 m keine Durchforstungen mehr	Kleinerer h/d-Wert bedeutet höhere Bruchfestigkeit des Baumschafftes, h/d-Wert hat aber auf Sturmschadensrisiko nicht so hohen Einfluß wie auf Schneebruchrisiko	Kronenlänge eng mit h/d korreliert; längere Kronen bedeuten auch höhere Bruchfestigkeit	
1987	Lohmander, Helles	Logistisches Modell anhand von Sturmschadensdaten in drei Dänischen Untersuchungsgebieten 1981	Windwurfgefahr steigt mit zunehmender Höhe	Geringerer h/d-Wert ergab geringere Sturmschäden		
1988	Thomasius	Schlußfolgerungen aus Sturm- und Schneeschadensmodellen von MARSCH (1989a)		niedriger h/d-Wert grundsätzlich höhere Sturmfestigkeit; aber von Kronenschluß überprägt. h/d 90 in geschlossenen Bestand (KS=1) ist günstiger einzustufen als h/d 70 bei Kronenschluß 0,6		Rotfäule kann Knick- und Biegefestigkeit um 20-40 % reduzieren

Tab. 10.1a: Teil 1 – Einzelbaumfaktoren (fortgesetzt)

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor			Gesundheitszustand & Schäden
			Baumhöhe	h/d-Wert	Kronenlänge	
1989	Schmidt-Vogt	Literaturstudien		Geringerer h/d-Wert von Vorteil: geringere Schwingungsamplitude, größere Frequenz, Untersuchung Konopka: je höher über NN, desto niedrigere h/d-Werte nötig	Längere Krone bedeutet niedrigeren Schwerpunkt, verringertes Biegemoment,	Wurzelfäule erhöht das Sturmschadensrisiko deutlich
1990, 1991, 1995	Nielsen	Untersuchungen zur Verankerung der Fichte, Baumziehveruche, Wurzeluntersuchungen, Vergleich von Versuchsflächen mit verschiedenen Durchforstungen		Das h/d Verhältnis eines Altbestandes gibt keine Aussage über die Sturmfestigkeit des Bestandes: Gutes h/d-Verhältnis kann auch durch spätere Eingriffe entstanden sein, welche die Verankerung nicht mehr verbessern.		
1991	Preuhler	Untersuchung von Sturmschäden bei Vivian und Wiebke in der Münchner Schotterebene		Tendenziell Bäume mit niedrigerem h/d-Wert geworfen	Bäume mit großem Kronenvolumen tendenziell bevorzugt geworfen	
1991 1992	Abetz	Forderungen aus verschiedenen Untersuchungen		h/d-Wert Maß für Bruchfestigkeit, Einzelbaumstabilität, aber für Wurffähigung auf Standorten mit schlechter Verankerung unbrauchbar	Bei Wurffähigkeitsdaten Standorten ist große Krone aufgrund vergrößerter Angriffsfläche negativ zu bewerten	
1991	Lätt	Auswertung von Windwurfdaten von 1967 und 1989/90 in einem Forstbetrieb des Schweizer Mittelandes				Signifikant höherer Windfallanteil bei höheren Kronenverfichtungen
1991	Schmid-Haas, Bachofen	1990er Stürme in der Schweiz: Untersuchungen im Kanton Glarus		Bäume mit niedrigerem h/d-Wert und längeren Kronen nicht häufiger geschädigt als andere		Fäule erhöht den Bruchanteil deutlich, Wurzelfäule noch häufiger als Stammfäule. Ist eine der wichtigsten Ursachen für Ausmaß der Schäden
1995	König	Erstellung eines Erklärungs- und Prognosemodells anhand von Sturmschäden in drei Juraforstämtern Eichstätt, Schernfeld und Kipfenberg (Logistisches Model)	ab 20 m Zunahme der Gefährdung Im Erklärungsmodell für Sturmschäden ist die Bestandesoberhöhe die einflussreichste Variable			

Tab. 10.1a: Teil 1 – Einzelbaumfaktoren (fortgesetzt)

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor				Gesundheitszustand & Schäden
			Baumhöhe	h/d-Wert	Kronenlänge		
1994 1996	Graber	Fichtenkernfäule in der Nordschweiz				Höhere Stabilität in Plenterbeständen wird v.a. auf geringeren Fäuleanteil in stufigen Beständen mit Tannenbeimischung zurückgeführt	
1997	Gardiner et al.	Feldversuche an Sitkafichten und Windkanalversuche mit Modellen		Niedriges h/d-Verhältnis bedeutet geringere Windbruchgefahr, aber höhere Wurfgefahr, da oberirdische Masse schneller ansteigt als Wurzelmasse			
1999	Peltola et al.	Baumziehversuche, Modellierung "HWIND"	Bei gleichbleibendem h/d-Verhältnis hat die Höhe rel. wenig Einfluß auf Sturmschäden	Hohes h/d-Verhältnis erhöht die Windbruchgefahr, niedriges h/d aufgrund Durchforstungen die Windwurfgefahr, da Windlast in größerem Umfang steigt, als durch das h/d-Verhältnis kompensiert wird			
2000	Brüchert, Becker	Biegemechanische Analysen, Literaturanalysen	Wahrscheinlichkeit von Böen nimmt mit der Höhe über Erdboden stark zu	Unterdrückte Bäume mit geringeren h/d-Werten haben tendenziell eine etwas höhere Steifigkeit und kompensieren die geringere Dimension damit etwas	Lange Krone mit wenig Astquirilen ist noch nicht stabiler - erst kürzere Abstände zwischen Quirlen erhöhen Stabilität		
2000	Peltola et al.	Baumziehversuche		Hohes h/d-Verhältnis erhöht die Windbruchgefahr, niedriges h/d die Windwurfgefahr Besten Prädiktor für Widerstand gegen Wurf: Höhe x BHD ² Widerstand gegen Windbruch: BHD ³			
2002	Müller	Modellierung anhand von Versuchsflächen- und Inventurdaten	Bis zu einer Höhe von 25 m steigt die Gefährdung an	Kein Unterschied in den h/d-Werten von geschädigten und ungeschädigten Bäumen			
2002	Dobbertin et al.	Schadenserhebungen nach Lothar in der Schweiz	Kontinuierlicher Anstieg der Schäden bis über 35 m				
1985 2002	Mayer	Experimentelle Untersuchung über dynamische Windlasten auf Fichten		Gefahr von Schäden wird bei kleinerem h/d-Wert verringert, da sich die Eigenfrequenzen der Bäume erhöhen. Das führt infolge schmalbandiger Energieübertragung zu kleineren Windlasten: Gilt besonders für Bäume mit h/d unter 80			

Tab. 10.1a: Teil 1 – Einzelbaumfaktoren (fortgesetzt)

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor			Gesundheitszustand & Schäden
			Baumhöhe	h/d-Wert	Kronenlänge	
1991 1994 2002	Schmid-Haas	1990er Stürme in der Schweiz: Untersuchungen in Oberentfelden				Sturmgefährdung nimmt mit größer werdendem Nadelverlust signifikant zu, ursächlich ist Wurzelfäule. Infektionen im Wurzelraum werden als Ursache für Fäule, Zuwachsreduktion, Nadelverlust und Sturmanfälligkeit vermutet
1998 2003	Richter	Untersuchung von Windwurf- und -bruchbäumen und deren Nachbarn im Sauerland	Deutliche Zunahme der Sturmgefährdung ab 25 m Höhe	Gebrochene Bäume tendenziell niedrigeres h/d-Verhältnis als Nachbarn. Mögliche Ursachen: Höherer Frühholzanteil, Sollbruchstellen durch starke Äste. Starke Äste weniger biegsam: leiten Winddruck an Schaft weiter	Lange Kronen bedeuten niedrigerer Schwerpunkt aber größere Angriffsfläche	Schältschäden verursachen Rotfäule und in der Folge Windbruch
2005	Mayer P. et al.	Sturmschäden von Lothar und Martin in Frankreich, Schweiz, Bayern und Baden-Württemberg	Mit steigender Höhe größere Schadensgefahr, aber nur bis 20m Höhe; ab da keine signifikante Veränderung mehr			
2006	Vanonsen	Dynamische und statische Umzugversuche auf unterschiedlich stark durchforsteten Versuchsflächen (Breitenacker, Schweiz)		Bäume mit niedrigeren h/d-Werten nach konsequent starker Durchforstung haben höhere Eigenfrequenz, höhere Verankerungssteifigkeit und Festigkeit, sind also stabiler		
2006	Schütz et al.	Untersuchungen an Fichten- und Buchenbeständen nach Sturm Lothar in der Schweiz	Bei Untersuchungsbeständen mit $do > 30\text{cm}$ kein Unterschied	Kein Einfluß feststellbar; möglicherweise aufgrund der hohen Windstärken zwischen 32 und 70 m/s (Mittel: 44,2)		
2005 2006	Schmidt et al.	Modellierung anhand von Inventurdaten nach Sturm Lothar	Mit steigender Höhe größere Schadensgefahr, stark steigend ab 25-30m	Deutlich geringerer Einfluß als Baumhöhe, aber niedrige h/d-Verhältnisse günstiger		

Tab. 10.1b: Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Sturmschäden – Teil 2: Bestandesfaktoren

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor				
			Baumarten	Alter	Bestandesdichte	Horizontalverteilung	Vertikalverteilung
1967	Bosshard	Untersuchung der Sturmschäden von 1967 in der Schweiz (Befragung, Beobachtungen)	Kein Bestandesmerkmal wirkt sich deutlicher auf die Sturmempfindlichkeit aus, als der Fichtenanteil	Ältere und überalterte Bestände werden sturmanfälliger eingeschätzt: vermutete Ursachen: weitere Verlagerung des Schwerpunktes nach oben, nachlassendes Wurzelwachstum	Lücken als Anrißzonen	Lücken als Anrißzonen	Gestufte Bestände stabiler: nur Einzelwürfe, während in einstufigen Flächenwürfe
1986	Rottmann	Literaturstudien	Mischbaumarten verringern die Sturmgefährdung	Ältere Bestände aufgrund größerer Höhe gefährdeter, besonders gefährdet, wenn spät noch durchforstet	Sturmrisiko in aufsteigender Reihenfolge: 1: BG < 0,4 / > 1,2 2: BG 0,4-0,6 / 0,9-1,2 3: BG 0,6-0,9 BG=Bestockungsgrad	Stark strukturierte Bestände wie Planterbestände sind stabiler: die Windgeschwindigkeit wird herabgesetzt, die Einzelbäume erwachsen stabiler, plötzliche Destabilisierungen entfallen	Stark strukturierte Bestände wie Planterbestände sind stabiler: die Windgeschwindigkeit wird herabgesetzt, die Einzelbäume erwachsen stabiler, plötzliche Destabilisierungen entfallen
1987	Lohmander, Helles	Logistisches Modell anhand von Sturmschadensdaten in drei Dänischen Untersuchungsgebieten 1981	Fichte (und Sitkafrichte) waren in dieser Untersuchung stabiler als Tanne und Douglasie	Windwurfgefahr steigt mit Alter (ggf. aber Höheneffekt)			
1988	Thomasius	Schlußfolgerungen aus Sturm- und Schneeschadensmodellen von MARSCH (1989a, 1989b)			Bestände mit höherer Bestandesdichte aufgrund von kollektiver Stabilität deutlich günstiger einzustufen	möglichst gleichmäßige Verteilung auf der Fläche, um gleichmäßig geschossenes Kronendach zu erhalten	Vertikal möglichst geringe Gliederung des Kronendaches, um Oberflächenrauigkeit zu minimieren
1989	Schmidt-Vogt	Literaturstudien	Mischbaumarten weniger anfällig als Fichte: Tanne nicht in allen Fällen: auf schweren Böden Vorteil der Pfahlwurzel, auf steinigem oft nicht. Laubbäume haben größere Überlegenheit, da sie während der Hauptsturmzeit im Winter unbebaut sind.	Gefährdung nimmt mit zunehmender Höhe und damit Alter zu: Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe nach logarithmischem Windgesetz zu	Reduktion der Bestandesdichte erhöht Schwingungsamplituden, dadurch wird die Schwingungsfrequenz wird geringer		

Tab. 10.1: Teil 2 – Bestandesfaktoren (fortgesetzt)

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor			
			Baumarten	Alter	Bestandesdichte	Horizontaleverteilung
1990, 1991, 1995	Nielsen	Untersuchungen zur Verankerung der Fichte, Baumzielversuchungen, Wurzeluntersuchungen, Vergleich von Versuchsflächen mit verschiedenen Durchforstungen			Verzweigungsintensität der strukturellen Wurzelsysteme wird in Gerten- und Stangenholzalter festgelegt. Nur weite Pflanzverbände oder starke frühe Läuterungen können die vier untersuchten Verankerungskomponenten der Fichte nachhaltig verbessern. Geschlossenes Kronendach bedeutet physikalische Stützeffekte durch Kronenkontakte: von Bedeutung in älteren Beständen.	
1991	Preuhsler	Untersuchung von Sturmschäden bei Vivian und Wiebe in der Münchner Schotterebene			Gleichmäßig bestockte und stammzahlreiche Partien eher verschron	Ungleichmäßigkeiten in der Bestockungsdichte boten Ansatzpunkte für Sturmschädigungen
1991	Schmid-Haas, Bachofen	1990er Stürme in der Schweiz: Untersuchungen im Kanton Glarus	Bestände mit Nadelholzanteil >90% sind mehr als doppelt so stark gefährdet als gemischtere	Schäden erst ab 40 Jahren, stärkste Ältere Bestände wieder weniger: wird aber auf andere Vorgeschichte und Pflege zurückgeführt	Gedrängte Bestände bei Schäden deutlich unterrepräsentiert. Bestände mit normalem/lockerem Schlußgrad am stärksten geschädigt, räumig/aufgelöst, gruppiert wieder weniger geschädigt Je dichter die Bestände, desto kleiner die Wurzelradien der ausgehobenen Bestände	mehrschichtige Bestände 4x weniger Schaden als bei Gleichverteilung zu erwarten, Einschichtige: 1,7x mehr
1994	Stacey et al.	Windkanalversuche				Schon bei Lücken von 15 m verdoppelt sich das Biegemoment
1995	König	Erstellung eines Erklärungs- und Prognosemodells anhand von Sturmschäden in drei Juraforstämtern Eichstätt, Schernfeld und Kipfenberg	Zwischen reinen Fichtenbeständen und Fichtenbeständen mit Laubholz- oder Kiefernbeimischung konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden	Bei gleicher Bestandeshöhe Bestände mit höherem Alter signifikant stabiler	Initialstadien wie Trassenauftriebe, Käferböcher, Femelstellungen haben signifikanten Einfluß auf Sturmschäden	Initialstadien wie Trassenauftriebe, Käferböcher, Femelstellungen haben signifikanten Einfluß auf Sturmschäden

Tab. 10.1: Teil 2 – Bestandesfaktoren (fortgesetzt)

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor			Vertikaleverteilung
			Baumarten	Alter	Bestandesdicke	
1997	Gardiner et al.	Feldversuche an Stikafichten und Windkanalversuche mit Modellen			Bestände mit weiterem Verband bedeuten: - höheres Biegemoment = größere Wurfgefahr - höhere BHD ³ -Werte (anstelle von H/D) = geringere Bruchgefahr - bessere Schwingungsdämpfung und damit weniger Anfälligkeit beim Ausfall von Nachbarbäumen Im Inneren von lockeren Beständen sinkt die Windgeschwindigkeit nicht so stark ab. Solche Bestände werden weniger beeinflusst, wenn Lücken entstehen. Schon bei Lücken von 15 m verdoppelt sich das Biegemoment	
1999	Peltola et al.	Baumziehversuche, Modellierung "HWIND"	Fichte anfälliger als Kiefer und Birke		Geringere Bestandesdicke bedeutet höhere Schadensanfälligkeit	
2001	Dvořák et al.	Sturmschäden nach Lothar in Plenterbeständen des Emmentals	Beschädigungsgrad bei Fichte größer als bei Tanne und bei Buche größer als bei Buche		Überführungs- und Plenterbestände deutlich stabiler als gleichförmige (Faktor 2,4)	Überführungs- und Plenterbestände deutlich stabiler als gleichförmige (Faktor 2,4)
2002	Mason	Modellierung mit Forest GALES				Strukturierte Bestände (Continuos Cover Forestry) laut Modellierung mit Schadensmodell GALES nur in Bereichen mittlerer Windexposition stabiler als konventionell durchforstete Alterskassenbestände.
2002	Müller	Modellierung anhand von Versuchsflächen- und Inventurdaten		Gefährdung steigt mit zunehmendem Alter stetig an		

Tab. 10.1: Teil 2 – Bestandesfaktoren (fortgesetzt)

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor				
			Baumarten	Alter	Bestandesdichte	Horizontverteilung	Vertikalverteilung
2002	Dobbertin et al.	Schadenserhebungen nach Lothar in der Schweiz	Tanne fast so häufig geschädigt wie Fichte, Laubholz deutlich weniger				Stufige Bestände weniger geschädigt
2003	Richter	Untersuchung von Windwurf- und -bruchbäumen und deren Nachbarn im Sauerland			Mit zurückgehendem Bestandesschluss nehmen gruppenweise Würfe bzw Brüche zu		
2005	Mayer P. et al.	Sturmschäden von Lothar und Martin in Frankreich, Schweiz, Bayern und Baden-Württemberg	Anteil an Nadelbäumen signifikant für höhere Sturmschäden				
2006	Schütz et al.	Untersuchungen an Fichten- und Buchenbeständen nach Sturm Lothar in der Schweiz	eine 10%ige Beimischung von Laubbäumen oder stabileren Nadelhölzern, insbesondere Douglasie reduzierte die Anfälligkeit der Fichtenbestände signifikant		Risiko der Destabilisierung steigt mit Lücken, die eine Baumlänge (0,1-0,2 ha) überschreiten	Risiko der Destabilisierung steigt mit Lücken, die eine Baumlänge (0,1-0,2 ha) überschreiten	
2005 2006	Schmidt et al.	Modellierung anhand von Inventurdaten nach Sturm Lothar	Tanne, Douglasie stabiler als Fichte, Kiefer und Laubholz noch stabiler				
2008	Claßen et al.	Schäden nach Sturm "Kyrill" in Thüringen	Je höher die Beimischung von anderen Baumarten, desto geringer ist das Schadprozent in Fichtenbeständen	Mit zunehmendem Bestandesalter steigen die Schäden an, v.a. ab Alter 80	Geringer bestockte Bestände stärker geschädigt		

Tab. 10.2a: Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Schneebruchschäden – Teil 1: Einzelbaumfaktoren

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor			Gesundheitszustand & Schäden
			Baumhöhe	h/d-Wert	Kronenlänge	
1983 1985	Rottmann	Literaturstudien, und Untersuchungen im Tertiären Hügelland		deutlicher Weiser für Stabilität gegenüber Schneebruch: bei $h/d > 90$ deutliche Zunahme der Schäden, vor allem der Stammbrüche: bei geringerem h/d -Wert also häufiger letale Schäden	Größere Kronenlänge bedeutet höhere Belastbarkeit, niedrigeren Schwerpunkt, größere Bruchhöhe und größere Regenerationsfähigkeit, Kronenanteil sollte 30% nicht unterschreiten, wichtig ist auch gleichmäßig ausgebildete Krone	
1988	Thomasius	Biegemechanische Analysen		Belastbarkeit ggü. Schneebruch steigt bei Abnahme des h/d -Wertes von 100 auf 70 um fast das Fünffache Deutlicher Einfluss aber erst unter $h/d < 90$		
1989a 1989b	Marsch	Biegemechanische Analysen		Bei 14m Höhe ist ein h/d -Wert von 80 notwendig, um starkem Schneeedruck zu widerstehen (Schneeeauflage von 50 kg/m^2 unterstellt: 20 cm Auflage mit 250 kg/m^3)		
1989	Schmidt-Vogt	Literaturstudien		Festigkeit des Schaftes ist negativ mit dem h/d -Wert korreliert $h/d < 80$: nur geringe Gefährdung		Geschälte Bäume deutlich anfälliger: Bruch an der Schälstelle
1998	Huss	Beobachtungen in einem Fichtendurchforstungsversuch		Schäden durch Eisanhang ähnlich den Schäden von Schneebruch: früh gepflegte Bestände mit niedrigen h/d -Werten deutlich stabiler	Schneebruchresistenz steigt mit Kronenlänge	
2000	Brücher, Becker	Biegemechanische Analysen				
2002	Müller	Modellierung anhand von Versuchsflächen- und Inventurdaten		Geschädigte Bäume haben einen höheren h/d -Wert als ungeschädigte		
2000 2001 2005	Bachofen, Zingg	Vergleich behandelte und unbehandelte Fichtenbestände in der subalpinen Zone		Bäume mit geringerem Schlankheitsgrad als 80 fast ohne Gipfelbrüche, bei schlankeren Bäumen häufig Brüche zu verzeichnen		

Tab. 10.2b: Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Schneebruchschäden – Teil 2: Bestandesfaktoren

Jahr	Autor	Untersuchung	Einflussfaktor				Vertikalverteilung
			Baumarten	Alter	Bestandesdichte	Horizontalverteilung	
1985	Rottmann	Literaturstudien und Untersuchung im Tertiären Hügelland	Untersuchung im Universitätswald Landshut: Beimischung von Kiefer reduziert Schäden, Beimischung von Laubholz noch deutlichere Reduktion der Schäden	Schneebrüche können in allen Altersstufen auftreten. Am stärksten gefährdet sind ausgehende Dickungs-, Stangenholz- und angehende Baumholzphasen	Bestockungsgrade unter 1,0 tendenziell mit geringeren Schneebruchschäden, niedriger Bestockungsgrad in der Jugend	Horizontal aufgelockerte Kronenbereiche verhindern die Ausbildung einer geschlossenen Schneedecke	Vertikal gestufte Kronenbereiche verhindern die Ausbildung einer geschlossenen Schneedecke
1989, 1991	Schmidt-Vogt	Literaturstudien	Beimischung von Laubholz verringert die Gefahr des Schneebruches: Kronendach ist im Winter durchlässiger, Schnee kann besser durchfallen und Fichten bekronen sich besser	Verschiedenste Untersuchungen: Dichtung-Stangenholz bis zum angehenden Baumholz am meisten gefährdet	Bestandesbegründung: eindeutige Überlegenheit des weiteren Verbandes		Stufige Bestockung weist höhere Resistenz gegen Schneebruch auf, da keine geschlossene Schneedecke

Tab. 10.3: Parzellenwerte aus der retrospektiven Feldstudie: Altbestand

PARZELLE	Ort	Altersstufe	Behandlung	Mittlere Stammzahl/ha (Horizontalfächen)	Mittlere Grundfläche/ha (Horizontalfächen) [m ²]	Volumen in Erntefestmeter ohne Rinde	Stand-Density-Index nach REINEKE (1933) (Horizontalfächen)	BHD des Grundflächen- mittelstammes [cm]	BHD des Grundflächenmittelstammes der 100 Stärken/ha [cm]	Mittleres h/d-Verhältnis (kollektiv der Höhenmessbäume)	Mittleres h/d-Verhältnis (Alle Bäume, Höhen aus Höhenkurven ergänzt)	Mittleres h/d-Verhältnis der 100 Stärken/ha	Veränderung des mittleren h/d- Verhältnisses in 9 Jahren (modelliert)	Veränderung des mittleren h/d- Verhältnisses in 9 Jahren, nur Kraftsche Klassen 1-3	(BHD*Höhe) als Weiser für Windwurfstigkeit	(BHD*Höhe) der 100 Stärken/ha	(BHD ₃) als Weiser für Bruchfestigkeit	(BHD ₃) der 100 Stärken/ha
111		J	1	1504	40,6	297	930	18,5	31,7	96	99	74	-0,3	-3,7	6634	23907	7501	32448
112		J	2	2328	50,3	350	1204	16,6	29,1	88	96	65	1,1	-1,6	4391	16014	5444	24865
121		W	1	1022	38,0	318	817	21,7	32,1	82	83	67	-0,9	-2,1	8758	22340	11465	33608
122		W	2	2315	62,2	477	1427	18,5	32,6	91	99	68	0,7	-0,7	6320	23717	7395	35561
131		R	1	384	47,7	521	809	39,8	52,3	75	79	62	-1,7	-2,2	48307	89695	70372	145258
132		R	2	649	68,7	742	1202	36,7	54,0	75	80	59	-0,4	-1,4	38610	92795	58391	161535
211		J	1	1593	65,5	542	1382	22,9	35,5	98	101	71	-2,3	-4,0	11752	31663	13751	44834
212		J	2	1906	57,9	450	1298	19,7	34,4	93	103	72	-0,1	-3,1	8022	29115	9348	41009
221		W	1	841	40,6	368	830	24,8	37,3	92	98	68	-1,6	-3,0	14280	35422	17876	52304
222		W	2	951	54,0	502	1069	26,9	40,8	95	95	70	-1,3	-2,3	18285	47860	22345	69396
231		R	1	540	68,2	754	1153	40,1	54,0	74	76	59	-1,4	-2,0	47662	93839	71444	160184
232		R	2	1054	101,8	1083	1814	35,1	50,0	77	80	60	-0,4	-1,0	33667	74881	47203	126378
311		J	1	605	31,7	274	637	25,8	34,3	62	74	59	-3,9	-6,8	12546	24090	19023	40834
312		J	2	1723	60,5	470	1317	21,1	33,3	73	81	61	-1,9	-4,5	7743	22577	10684	37612
321		W	1	591	47,2	469	874	31,9	42,7	74	81	67	-2,2	-2,9	26388	52917	35434	79876
322		W	2	885	58,5	557	1124	29,0	39,9	84	88	68	-1,2	-2,0	20983	43387	26506	63928
331		R	1	376	41,4	431	719	37,4	50,6	68	77	62	-2,7	-3,5	40435	81835	59961	133532
332		R	2	677	51,1	499	956	31,0	45,4	76	87	67	-1,9	-3,0	25904	62983	34300	96056

Altersstadien: J= Jugendstadium
W= Wachstumsstadium
R= Reifestadium

Behandlung: 1= behandelt
2= unbehandelt

Tab. 10.3 (fortgesetzt): Parzellenwerte aus der retrospektiven Feldstudie: Altbestand

PARZELLE	Ort	Altersstufe	Behandlung	Mittlere Kronenlänge [m] (nur Höhenmessbäume ohne Schnebruch)	Mittlere Kronenlänge [m] (alle Bäume, modellierte Werte)	Anteil der Fichten mit einem Bekunungsgrad unter 25% [%]	Anteil der Fichten mit einem Bekunungsgrad über 50% [%]	Anteil der Fichten in der besten Vitalitätsklasse 0 [%]	Anteil der Fichten in den beiden Klassen 2 und 3 mit mäßiger Vitalität [%]	Absolute Zahl der Fichten in der besten Vitalitätsklasse 0 [N/ha]	Absolute Zahl der Fichten in den beiden Klassen 2 und 3 mit mäßiger Vitalität [N/ha]	Anteil der Bäume mit Schältschaden [%]	Anteil der Bäume mit Schnebruch [%]	Aggregationsindex nach Clark & Evans (1954)	Durchmesserdifferenzierung T1 nach Fildner (1995)	Durchmesserdifferenzierung T2 nach Fildner (1995)	Durchmesserdifferenzierung T3 nach Fildner (1995)	Absoluter Profindex: Höhengrenzen 80%,50%	Relativer Profindex [%]
111		J	1	10	7,3	32	18	28,3	6,2	425	93	3	14,5	0,9	0	0	0	0,98	89,6
112		J	2	9	5,8	33	17	19,5	25,0	455	582	11	12,7	1,1	0	0	0	0,97	88,0
121		W	1	8	7,4	33	11	35,2	5,2	360	53	10	5,7	0,9	0	0	0	0,91	82,4
122		W	2	9	6,4	41	10	14,6	18,9	337	438	10	10,7	1,1	0	0	0	0,80	73,1
131		R	1	17	16,3	5	42	47,7	1,5	183	6	14	13,8	1,1	0	0	0	0,68	61,7
132		R	2	15	9,8	36	11	28,0	17,6	182	114	26	26,4	1,0	0	0	0	0,92	84,2
211		J	1	10	10,4	38	29	23,1	8,2	368	130	31	14,3	1,1	0	0	0	0,72	65,3
212		J	2	11	8,0	52	13	17,4	9,0	332	171	30	9,6	1,0	0	0	0	0,97	88,5
221		W	1	9	10,4	39	12	32,5	26,9	273	226	23	6,9	1,1	0	0	0	0,77	70,3
222		W	2	9	11,2	54	7	26,6	19,8	252	188	71	11,3	1,0	0	0	0	0,83	75,7
231		R	1	15	14,0	13	28	30,4	5,4	164	29	75	17,4	1,2	0	0	0	0,65	59,6
232		R	2	12	11,4	28	20	18,3	9,5	193	100	92	14,2	1,2	0	0	0	0,61	55,9
311		J	1	13	9,2	9	45	31,0	6,9	188	42	95	74,1	1,1	0	0	0	0,77	70,2
312		J	2	9	8,7	26	25	20,9	11,8	360	203	87	66,7	1,0	0	0	0	0,81	73,8
321		W	1	13	11,3	23	12	24,3	5,4	144	32	52	62,2	1,2	0	0	0	0,84	76,9
322		W	2	9	10,2	36	8	23,5	10,8	208	96	57	50,6	1,2	0	0	0	0,61	55,4
331		R	1	20	15,0	6	60	33,8	7,4	127	28	22	63,2	1,1	0	0	0	0,91	83,1
332		R	2	17	14,0	13	47	22,2	11,1	150	75	43	53,8	1,1	0	0	0	0,89	81,3

Altersstadien:
 J= Jugendstadium
 W= Wachstumsstadium
 R= Reifestadium

Behandlung:
 1= behandelt
 2= unbehandelt

Tab. 10.4: Parzellenwerte aus der retrospektiven Feldstudie: Verjüngung

PARZELLE	Ort	Altersstufe	Behandlung	Anzahl/ha Pflanzen unter 20 cm	Anzahl/ha Pflanzen ab 20 cm	Mittlere Höhe der Pflanzen unter 20 cm Höhe [cm]	Mittlere Höhe der Pflanzen ab 20 cm Höhe [cm]	Mittlere Höhe - alle Pflanzen [cm]	Summe Biomasseindex (Pflanzen unter 20 cm) [Liter]	Summe Biomasseindex (Pflanzen ab 20 cm) [Liter]
111	Ruhpolding	J	1	21500	2875	9,3	30,2	13,5	4,7	33
112		J	2	15000	1500	11,2	26,7	14,3	3,3	8
121		W	1	8750	2750	9,5	38,5	15,3	5,4	255
122		W	2	750	0	5,3	-	5,3	0,1	0
131		R	1	9500	2063	7,9	33,5	13,0	3,1	65
132		R	2	13500	0	6,9	-	6,9	2,8	0
211	Oberammergau	J	1	500	0	6,8	-	6,8	0,0	0
212		J	2	500	250	5,5	-	5,5	0,0	27
221		W	1	12750	625	9,2	25,4	12,4	2,4	5
222		W	2	2750	250	9,3	44,3	9,3	0,5	13
231		R	1	9500	563	8,8	24,3	11,9	2,7	5
232		R	2	250	0	3,0	-	3,0	0,0	0
311	Tölz	J	1	500	0	10,5	-	10,5	0,1	0
312		J	2	500	0	3,0	-	3,0	0,0	0
321		W	1	1750	125	7,9	24,3	11,1	0,3	2
322		W	2	1250	0	6,5	-	6,5	0,0	0
331		R	1	500	563	10,1	27,5	13,6	0,1	4
332		R	2	250	0	12,0	-	12,0	0,0	0

Altersstadien: J= Jugendstadium
W= Wachstumsstadium
R= Reifestadium

Behandlung: 1= behandelt
2= unbehandelt

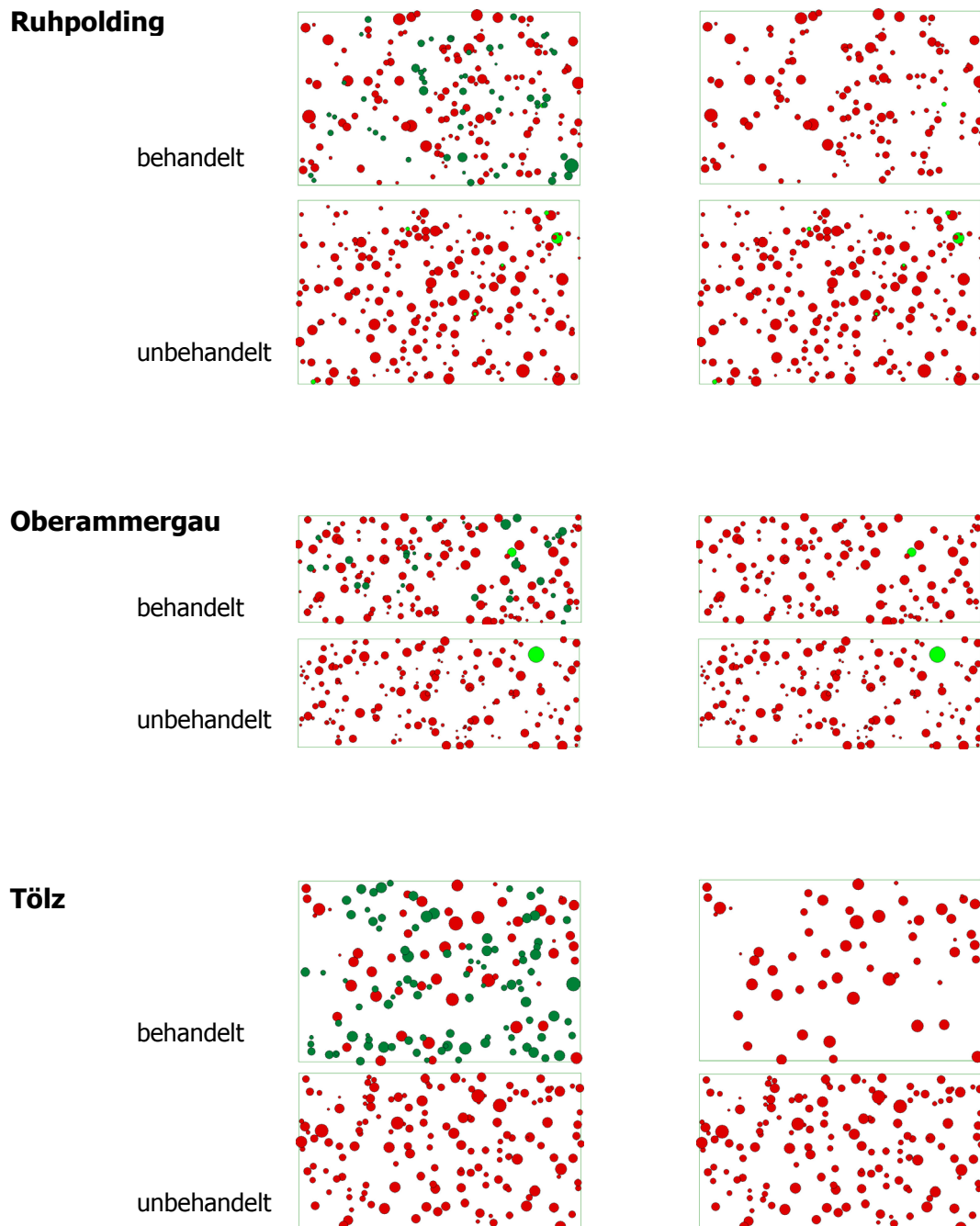
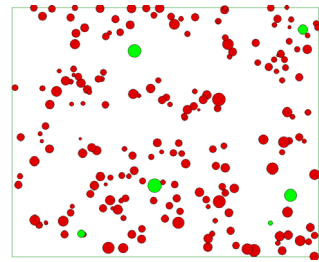
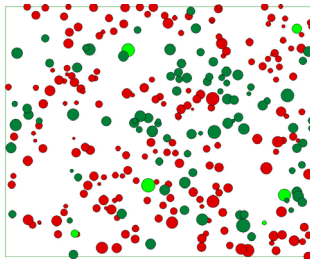


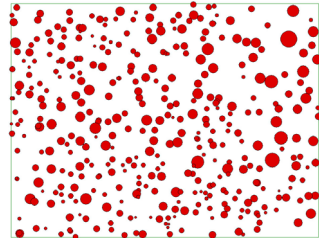
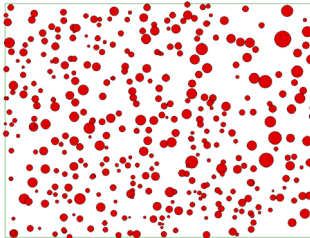
Abb. 10.1: Stammfußkarten der Flächen im **Jugendstadium**. Links die Situation vor dem Eingriff, rechts die Situation nach dem Eingriff. Dunkelgrün sind Fichten, die bei dem Eingriff entnommen wurden. Hellgrün sind Laub-Mischbaumarten.

Ruhpolding

behandelt

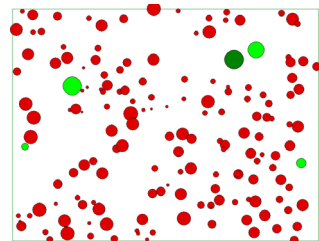
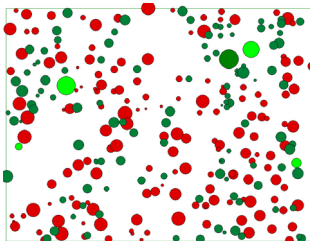


unbehandelt

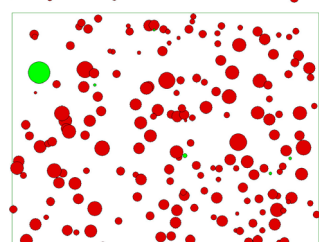
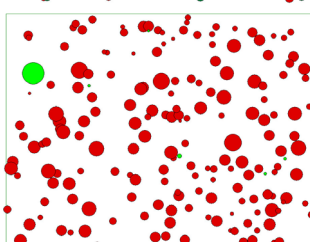


Oberammergau

behandelt

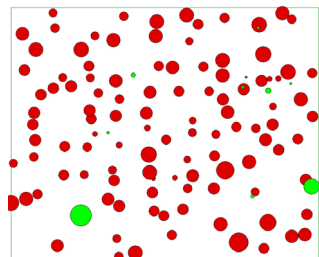
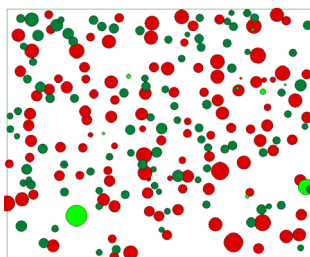


unbehandelt



Tölz

behandelt



unbehandelt

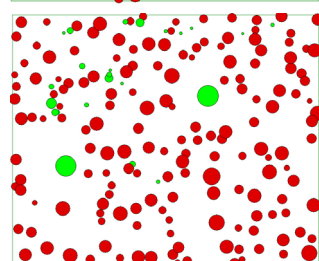
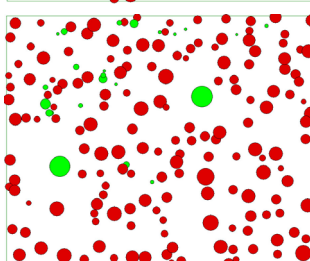
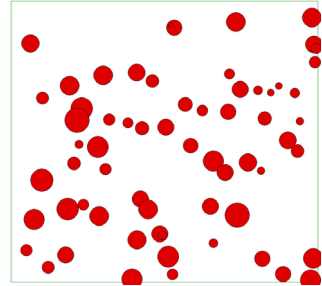
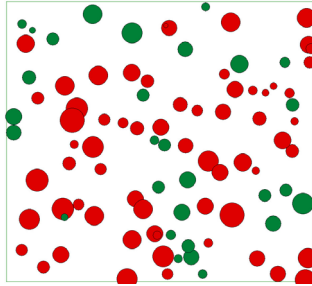


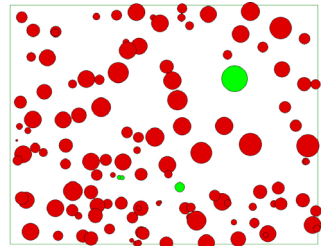
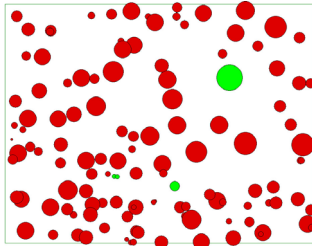
Abb. 10.2: Stammfußkarten der Flächen im **Wachstumsstadium**. Links die Situation vor dem Eingriff, rechts die Situation nach dem Eingriff. Dunkelgrün sind Fichten, die bei dem Eingriff entnommen wurden. Hellgrün sind Laub-Mischbaumarten. Mittelgrün in der behandelten Fläche Oberammergau: eine Tanne.

Ruhpolding

behandelt

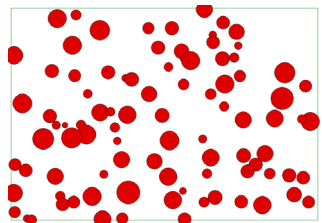
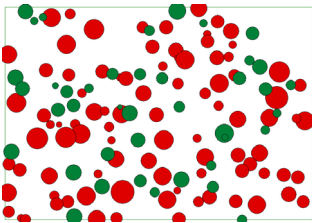


unbehandelt

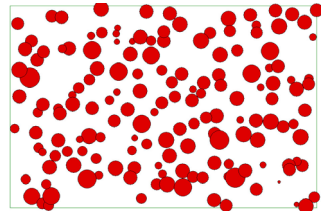
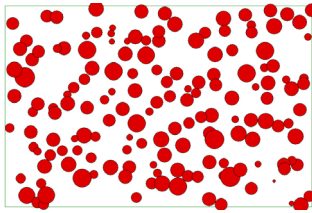


Oberammergau

behandelt

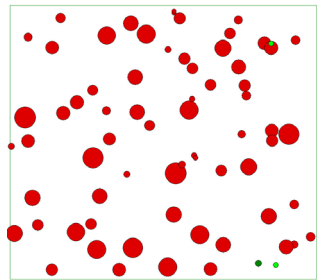
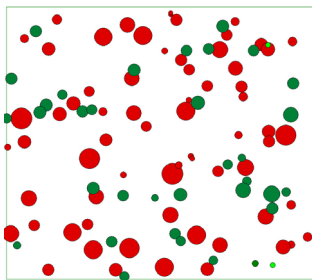


unbehandelt



Tölz

behandelt



unbehandelt

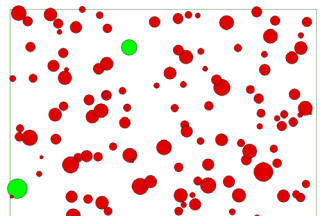
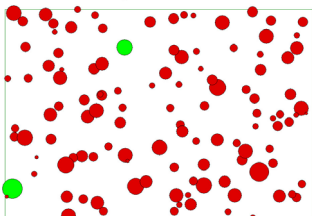


Abb. 10.3: Stammfußkarten der Flächen im **Reifestadium**. Links die Situation vor dem Eingriff, rechts die Situation nach dem Eingriff. Dunkelgrün sind Fichten, die bei dem Eingriff entfernt wurden. Hellgrün sind Laub-Mischbaumarten.

Tab. 10.5: Sortenverteilung des stehenden Vorrats auf den Untersuchungsparzellen

Ort	Altersstufe	Behandlung	Alter bei Eingriff	Holzanfall je Stärkeklasse (Fm/ha)										Industrieholz		Summe Stammholz	Vorrat Gesamt (Efm/ha) Zopf 7cm	Vorrat Gesamt (Efm/ha) Zopf 10cm
														Aufarbeitungs-zopf 7cm	Aufarbeitungs-zopf 10cm			
				1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b					
1	1	1	43	21	105	52	26	3	0	0	0	0	0	0	86	69	293	276
1	1	2	50	39	120	56	12	0	0	0	0	0	0	0	127	100	353	326
2	1	1	45	27	139	165	82	23	0	0	0	0	0	0	100	80	535	516
2	1	2	45	27	116	116	65	13	0	0	0	0	0	0	136	113	472	449
3	1	1	39	4	70	96	62	10	0	0	0	0	0	0	29	23	271	266
3	1	2	40	31	155	125	43	13	0	0	0	0	0	0	101	81	470	449
1	2	1	67	21	113	82	30	5	0	0	0	0	0	0	89	77	339	328
1	2	2	65	52	153	91	27	14	3	0	0	0	0	0	155	126	494	466
2	2	1	64	12	75	99	85	39	2	3	3	0	0	0	79	70	319	389
2	2	2	64	15	99	127	111	53	16	6	0	0	0	0	79	69	506	496
3	2	1	68	2	72	104	122	77	27	6	3	0	0	0	66	62	479	474
3	2	2	66	10	118	142	128	82	14	0	0	0	0	0	104	97	597	591
1	3	1	83	4	32	56	87	101	97	65	15	9	0	0	20	17	487	484
1	3	2	85	6	62	89	123	129	122	88	29	13	0	0	74	68	735	729
2	3	1	90	5	50	92	126	146	136	89	25	10	0	0	25	21	703	699
2	3	2	90	11	108	196	259	243	102	45	13	0	0	0	53	45	1030	1022
3	3	1	62	3	35	51	79	81	80	38	20	0	0	0	20	16	406	402
3	3	2	60	8	69	99	103	93	48	13	4	0	0	0	71	65	507	501
1	4	2	95	1	39	62	81	111	116	111	92	45	25	0	22	20	705	703

Tab. 10.6: Sortenverteilung des entnommenen Vorrats auf den Untersuchungsparzellen

Ort	Altersstufe	Behandlung	Alter bei Eingriff	Holzanfall je Stärkeklasse (Fm/ha)										Industrieholz		Summe Stammholz	Entnahme Gesamt (Efm/ha) Zopf 7cm	Entnahme Gesamt (Efm/ha) Zopf 10 cm
														Aufarbeitungs-zopf 7cm	Aufarbeitungs-zopf 10cm			
				1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b					
1	1	1	36	12	19	6	3	3	0	0	0	0	0	0	38	29	81	72
2	1	1	36	7	27	9	2	0	0	0	0	0	0	0	19	15	64	60
3	1	1	32	21	71	43	8	0	0	0	0	0	0	0	59	48	202	191
1	2	1	60	10	57	45	9	2	0	0	0	0	0	0	29	24	152	147
2	2	1	61	18	62	40	10	0	0	0	0	0	0	0	34	27	163	157
3	2	1	62	12	58	32	15	2	0	0	0	0	0	0	30	25	149	143
1	3	1	77	1	22	33	26	25	8	6	0	0	0	0	8	7	129	128
2	3	1	87	3	26	45	65	44	22	3	0	0	0	0	13	11	220	218
3	3	1	53	4	23	32	16	5	0	0	0	0	0	0	8	6	87	85

Tab. 10.7: Abtriebswerte und Erntekosten je Hektar für die stehenden Vorräte auf den Untersuchungsparzellen

Ort	Altersstufe	Behandlung	Alter bei Eingriff	Entnahmemasse (Efm/ha) Zopf 7cm	Durchforstungserlös Zopf 7cm	Durchforstungserlös Zopf 10cm	Erntekosten Harvester (Zopf 7cm)	Erntekosten Kombiniert (Zopf 7cm)	Erntekosten Schlepper (Zopf 10cm)	Erntekosten Vollbaum (Zopf 7cm)	Erntekosten Seil bergauf (Zopf 10cm)	Erntekosten Seil bergab (Zopf 10cm)
1	1	1	43	293	16.617 €	16.069 €	6.570 €	9.950 €	12.529 €	16.300 €	16.933 €	20.038 €
1	1	2	50	353	17.437 €	16.580 €	6.814 €	10.819 €	13.927 €	19.609 €	19.217 €	23.256 €
2	1	1	45	535	31.169 €	30.548 €	9.084 €	15.236 €	19.965 €	23.896 €	27.949 €	32.641 €
2	1	2	45	472	25.692 €	24.976 €	8.524 €	13.738 €	17.967 €	22.962 €	24.873 €	29.618 €
3	1	1	39	271	16.876 €	16.702 €	4.335 €	7.496 €	9.883 €	10.845 €	13.914 €	16.044 €
3	1	2	40	470	26.303 €	25.654 €	8.251 €	13.758 €	18.014 €	22.511 €	25.155 €	29.657 €
1	2	1	67	339	18.496 €	18.132 €	6.128 €	10.041 €	13.372 €	16.815 €	18.534 €	22.114 €
1	2	2	65	494	25.488 €	24.582 €	9.226 €	14.859 €	19.351 €	26.140 €	26.856 €	32.122 €
2	2	1	64	398	23.555 €	23.283 €	6.684 €	11.086 €	14.486 €	17.059 €	20.364 €	23.559 €
2	2	2	64	506	30.697 €	30.394 €	8.247 €	13.930 €	18.112 €	20.881 €	25.645 €	29.386 €
3	2	1	68	479	30.019 €	29.874 €	7.584 €	12.848 €	16.494 €	18.468 €	23.570 €	26.559 €
3	2	2	66	597	36.132 €	35.919 €	9.860 €	16.513 €	21.619 €	24.789 €	30.529 €	34.944 €
1	3	1	83	487	32.773 €	32.682 €	6.769 €	12.000 €	14.194 €	15.774 €	21.463 €	23.042 €
1	3	2	85	735	47.643 €	47.448 €	10.806 €	18.615 €	22.514 €	25.925 €	33.419 €	36.807 €
2	3	1	90	703	47.445 €	47.323 €	9.768 €	17.367 €	20.639 €	22.721 €	31.155 €	33.440 €
2	3	2	90	1030	68.287 €	68.024 €	15.051 €	26.487 €	32.683 €	35.314 €	48.094 €	51.976 €
3	3	1	62	406	27.120 €	27.016 €	5.733 €	10.128 €	12.110 €	13.448 €	18.173 €	19.630 €
3	3	2	60	507	31.655 €	31.475 €	7.973 €	13.506 €	17.154 €	19.587 €	24.690 €	27.656 €
1	4	2	95	705	47.971 €	47.882 €	9.468 €	16.912 €	19.050 €	21.802 €	29.725 €	31.981 €

Tab. 10.8: Durchforstungserlöse und Erntekosten je Hektar für die entnommenen Vorräte auf den Untersuchungsparzellen

Ort	Altersstufe	Behandlung	Alter bei Eingriff	Entnahmemasse (Efm/ha) Zopf 7cm	Durchforstungserlös Zopf 7cm	Durchforstungserlös Zopf 10cm	Erntekosten Harvester (Zopf 7cm)	Erntekosten Kombiniert (Zopf 7cm)	Erntekosten Schlepper (Zopf 10cm)	Erntekosten Vollbaum (Zopf 7cm)	Erntekosten Seil bergauf (Zopf 10cm)	Erntekosten Seil bergab (Zopf 10cm)
1	1	1	36	81	3.668 €	3.389 €	1.639 €	2.499 €	3.525 €	4.790 €	5.186 €	5.910 €
2	1	1	36	64	3.268 €	3.151 €	1.199 €	1.962 €	2.729 €	3.477 €	3.960 €	4.559 €
3	1	1	32	202	10.454 €	10.103 €	3.749 €	6.098 €	8.529 €	10.680 €	12.359 €	14.208 €
1	2	1	60	152	8.573 €	8.414 €	2.649 €	4.468 €	6.177 €	7.257 €	8.885 €	10.198 €
2	2	1	61	163	8.909 €	8.706 €	2.890 €	4.864 €	6.753 €	8.178 €	9.743 €	11.204 €
3	2	1	62	149	8.248 €	8.083 €	2.621 €	4.415 €	6.072 €	7.312 €	8.769 €	10.056 €
1	3	1	77	129	8.419 €	8.369 €	1.948 €	3.421 €	4.387 €	4.693 €	6.434 €	7.015 €
2	3	1	87	220	14.475 €	14.411 €	3.256 €	5.712 €	7.241 €	7.686 €	10.673 €	11.554 €
3	3	1	53	87	5.405 €	5.352 €	1.382 €	2.417 €	3.269 €	3.523 €	4.692 €	5.303 €

Tab. 10.9: Biometrische und Mechanistische Sturmschadensmodelle und verwendete Variablen

Faktorenkomplex	Einflußfaktoren	König (1995) Logistische Regression	Lohmander, Helles (1987) Logistische Regression	Peltola et al. (1999) HWIND Mechanist. Modell	Gardiner, Quine (2000): ForestGALES Mechanisti- sches Modell
Meteorologische Situation	Max. Windgeschwindigkeit	x		x	Windexponier- theit wird via DAMS abgeschätzt
	Geschätzte Schneelasten			x	
Standorts- bedingungen	Standort	x	Wasser- haushalt		x
	Sedimentboden				
	Torfboden				
	Exposition				
	Höhe NN				DAMS
	Hangneigung				DAMS
	Topex				DAMS
	Längengrad				
	Breitengrad				
Bewirtschaftungs- maßnahmen	Zeit seit letzter Nutzung	x	x		
	ZE-Anfälle	x			
	Deckungsschutz	x	x		
	Durchforstung				x
	Durchforstungsstärke		x		
	Bodenbearbeitung				x
	Drainage-Maßnahmen				x
Bestandesfakt.	Bestandesoberhöhe	x	hg		Mittelwert
	BHD (Mittelwert)		dg		Mittelwert
	BHD/(Höhe-1,3) (Mittelwert)				
	Initialstadien	x		Größe	
	Bestandesform (Baumarten)	x	x	x	x
	Bestandesalter	x	x		x
	Mittlerer Baumabstand				x
	Bestandesdichte (n/ha)			x	
	Bestandesvolumen		x		
	Bestandesgrundfläche				
Einzelbaumfakt.	Höhe			x	
	BHD			x	
	Astfreie Schaftlänge				
	Kronenlänge				
	Kronenradius				
	Baumvolumen				
	H/D				
	Relative Kronenlänge				
	Stockdurchmesser/Höhe				
	BHD/(Höhe-1,3)				
	Abstand zum Bestandesrand			x	

DAMS = Detailed Aspect Method of Scoring; Schätzt die Windexponiertheit eines Standortes über die Höhenlage, Topographische Windgeschützttheit, Exposition.

Tab. 10.9: Biometrische und Mechanistische Sturmschadensmodelle und verwendete Variablen

Faktorenkomplex	Einflußfaktoren	Valinger, Fridmann (1999) Logistische Regressionen nur Baumdaten	Valinger, Fridmann (1999) Log. Regress. Baum-, Bestandes- und Standortdaten	Ni Dhubhain et al. (2001) Logistische Regression	Müller (2002) Cox-Regression
Meteorologische Situation	Max. Windgeschwindigkeit			Windzonen	
	Geschätzte Schneelasten				
Standortsbedingungen	Standort		1	x	Wasserhaushalt
	Sedimentboden		3		
	Torfboden		1		
	Exposition				
	Höhe NN		2,3		x
	Hangneigung		1		
	Topex				
	Längengrad		1,2		
	Breitengrad		1,2,3		
Bewirtschaftungsmaßnahmen	Zeit seit letzter Nutzung				
	ZE-Anfälle				
	Deckungsschutz				
	Durchforstung			x	
	Durchforstungsstärke				
	Bodenbearbeitung			x	
	Drainage-Maßnahmen				
Bestandesfakt.	Bestandesoberhöhe		3 (Mittelhöhe)	x	
	BHD (Mittelwert)		1,3		x
	BHD/(Höhe-1,3) (Mittelwert)	1	1		
	Initialstadien				
	Bestandesform (Baumarten)				
	Bestandesalter				
	Mittlerer Baumabstand				
	Bestandesdichte (n/ha)				
	Bestandesvolumen		2,3		
	Bestandesgrundfläche		3		
Einzelbaumfakt.	Höhe	2	2		x
	BHD	2	3		x
	Astfreie Schaftlänge	2			
	Kronenlänge		2		
	Kronenradius				
	Baumvolumen	2			
	H/D	1,2,3			
	Relative Kronenlänge	1,2			
	Stockdurchmesser/Höhe		3		
	BHD/(Höhe-1,3)		3		
	Abstand zum Bestandesrand				

Valinger und Fridmann haben Modelle für unterschiedliche Regionen entwickelt:
1= Nordschweden, 2= Mittelschweden, 3= Südschweden

Tab. 10.9: Biometrische und Mechanistische Sturmschadensmodelle und verwendete Variablen

Faktorenkomplex	Einflußfaktoren	Hanewinkel et al. (2004) Logistische Regression	Hanewinkel et al. (2004) Neuronales Netz	Schmidt et al. (2005, 2006) Verallg. Lin. Add. Gem Regression	Ancelin et al. (2004) FOREOLE Mechanistisches Modell
Meteorologische Situation	Max. Windgeschwindigkeit				
	Geschätzte Schneelasten				
Standortsbedingungen	Standort		4 Stabilitätskl.		
	Sedimentboden				
	Torfboden				
	Exposition	8 Hauptwindr.	8 Hauptwindr.		
	Höhe NN		x		
	Hangneigung		x		
	Topex		x	Modifiz. Topex	
	Längengrad				
Bewirtschaftungsmaßnahmen	Breitengrad				
	Zeit seit letzter Nutzung				
	ZE-Anfälle				
	Deckungsschutz				
	Durchforstung				
	Durchforstungsstärke				
	Bodenbearbeitung				
Bestandesfakt.	Drainage-Maßnahmen				
	Bestandesoberhöhe	ho	ho		
	BHD (Mittelwert)				
	BHD/(Höhe-1,3) (Mittelwert)				
	Initialstadien				
	Bestandesform (Baumarten)	x	x	x	
	Bestandesalter	x	x		
	Mittlerer Baumabstand				Modellierte Bestände unterschiedlicher Struktur
	Bestandesdichte (n/ha)				
	Bestandesvolumen				
Bestandesgrundfläche					
Einzelbaumfakt.	Höhe			x	x
	BHD				
	Astfreie Schaftlänge				x
	Kronenlänge				
	Kronenradius				x
	Baumvolumen				
	H/D			x	
	Relative Kronenlänge				
	Stockdurchmesser/Höhe				
BHD/(Höhe-1,3)					
	Abstand zum Bestandesrand			x	

Topex = Topographic Exposure: Summe der Winkel zwischen der Ebene und dem Horizont auf den 8 Kardinalhimmelsrichtungen

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Maximale Schutzbefähigung im Spannungsfeld zwischen maximaler Resistenz und maximaler Elastizität.	8
Abb. 2.2:	Bestände in den Bayerischen Alpen mit einem Fichtenanteil von mindestens 90%. Höhe max. 1400 m über NN. Gesamtfläche: 28.462 ha.	11
Abb. 2.3:	Verteilung der Fichtenreinbestände (max. 10% Mischbaumarten) in der Bergmischwaldstufe nach 20 jährigen Altersklassen. Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung 2004.	11
Abb. 2.4:	Verteilung von Fichtenreinbeständen der Bergmischwaldstufe in den Altersstufen III-V nach der Hangneigung. Inventurdaten der Bayerischen Staatsforstverwaltung 2004.	12
Abb. 2.5:	Schema zur Entschlussfassung in Fichtendickungen und Stangenhölzern, nach ZELLER (1996).	23
Abb. 2.6:	Intermediärbäume (SCHÜTZ 2001, nach Gurnaude 1886)	25
Abb. 2.7:	Möglichkeiten der Integration qualitativer und quantitativer Analyse auf der Designebene (WIENERT 2008 nach MAYRING 2001).	34
Abb. 2.8:	Der dreistufige Forschungsansatz	37
Abb. 3.1:	Altersklassen der als problematisch eingestuften Fichtenbestände [20 Jahre]	49
Abb. 3.2:	Empfohlene (Erst-)Eingriffszeitpunkte für Durchforstungen und Verjüngungseingriffe	59
Abb. 3.3:	Minimale und maximale Eingriffsstärken bei Durchforstungsmaßnahmen.	59
Abb. 3.4:	Minimale und maximale Eingriffsstärken bei Verjüngungsmaßnahmen.	60
Abb. 4.1:	Einflussfaktoren für Kalamitäten nach MÜLLER 2002.	66
Abb. 4.2:	Ausschnitt einer Forstbetriebskarte des Reviers „Laubau“ von 1962	93
Abb. 4.3:	Übersicht des Forschungsgebietes. Rote Punkte= Untersuchungsstandorte	94
Abb. 4.4:	Die Untersuchungsstandorte „Oberammergau“, „Tölz“ und „Ruhpolding“	95
Abb. 4.5:	Untersuchungsaufbau: B=behandelt, U=unbehandelt, die drei Orte stellen Wiederholungen dar ..	95
Abb. 4.6:	Schematische Darstellung einer Untersuchungsparzelle.	96
Abb. 4.7:	Standortklassifizierung im Hochgebirge (nach EWALD 1999).	97
Abb. 4.8:	Zusammenhang zwischen BHD und Durchmesser in 1,80 m Höhe	100
Abb. 4.9:	Das hierarchische Design: Der Faktor Behandlung ist im Faktor Alter eingebettet. Diese Anordnung ist an den drei Standorten Ruhpolding, Oberammergau und Tölz wiederholt. (a=Altersstufe, b=Behandlung)	114
Abb. 4.10:	Beispielhafte Darstellung einer geschätzten Verteilungsfunktion und der äußersten Verteilungsfunktion, welche die Ansprüche gerade noch erfüllen würde.	120
Abb. 4.11:	Residuen der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Kronenansatzhöhen über den prognostizierten Werten.	127
Abb. 4.12:	Normalquantilplot der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Kronenansatzhöhen. Die Linie in 45° zeigt den Idealverlauf normalverteilter Daten an.	128
Abb. 4.13:	Residuen der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Einzelbaumzuwächse über den prognostizierten Werten.	131
Abb. 4.14:	Normalquantilplot der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Einzelbaumzuwächse. Die Linie in 45° zeigt den Idealverlauf normalverteilter Daten an.	131
Abb. 4.15:	Zuwachsgang bei Entnahmen von 0, 10 und 20 m ² Grundfläche. Oben im Alter 50, unten im Alter 70 (alle anderen Variablen auf mittlerem Niveau).	133
Abb. 4.16:	Mittlere Stammzahlen/ha(Horizontalflächen) mit Standardfehlern	134
Abb. 4.17:	Mittlere Grundflächen/ha (Horizontalflächen) mit Standardfehlern	135
Abb. 4.18:	Mittlere Stand-Density-Indizes (Horizontalflächen) mit Standardfehlern.	135
Abb. 4.19:	BHD der Grundflächenmittelstämme mit Standardfehlern	137

Abb. 4.20:	BHD der 100 stärksten Stämme mit Standardfehlern.....	137
Abb. 4.21:	Mittlere h/d-Verhältnisse im Teilkollektiv der Höhenmessbäume	138
Abb. 4.22:	Mittlere h/d-Verhältnisse aller Bäume. Die fehlenden Höhen wurden aus Michailoff-Höhenkurven ergänzt.	139
Abb. 4.23:	Mittlere h/d-Verhältnisse der 100 stärksten Fichten/ha. Die fehlenden Höhen wurden aus Michailoff-Höhenkurven ergänzt.....	139
Abb. 4.24:	Boxplots der h/d-Werte aller Fichten. (Höhen über Michailoff-Höhenkurven ergänzt). Ruh= Ruhpolding, Ogau= Oberammergau, Tölz= Bad Tölz. (Box: 0,25-0,75-Quartil, Querbalken: Modal, Whisker: Min-Max (exklusive Ausreißer), O: Ausreißer)	141
Abb. 4.25:	Veränderung der Schlankheitsgrade innerhalb der letzten 9 Jahre. Links: Modellierung mit allen Fichten. Rechts: Nur Kraftsche Klassen 1 bis 3.....	142
Abb. 4.26:	Links: $BHD^2 \cdot Höhe$ als Weiser für die Wurfbarkeit; rechts: BHD^3 als Weiser für die Bruchfestigkeit	143
Abb. 4.27:	Links Kronenlänge, rechts Bekronungsgrad der <i>Fichten des Höhenmesskollektives</i>	145
Abb. 4.28:	Links Kronenlänge, rechts Bekronungsgrad <i>aller Fichten (modellierte Werte)</i>	145
Abb. 4.29:	Links: Anteil der Fichten mit einem Bekronungsgrad unter 25%, rechts: Anteil der Fichten mit einem Bekronungsgrad über 50% (okulare Ansprache aller Bäume).....	145
Abb. 4.30:	Links: Prozentualer Anteil der Fichten in der besten Vitalitätsklasse 0. Rechts: Anteil der Fichten in den beiden Klassen 2 und 3 mit eingeschränkter Vitalität.	146
Abb. 4.31:	Links: Absolute Anzahl der Fichten in der besten Vitalitätsklasse 0 (N/ha). Rechts: Zahl der Fichten in den beiden Klassen 2 und 3 mit eingeschränkter Vitalität.	147
Abb. 4.32:	Links: Prozentualer Anteil der Fichten mit Schältschäden. Rechts: Prozentualer Anteil der schneegebrochenen Fichten.	149
Abb. 4.33:	Strukturparameter: Links: Mittlere Aggregationsindizes nach CLARK und EVANS (1954).	150
Abb. 4.34:	T-Werte zur Beschreibung der Durchmesserendifferenzierung. Links T_1 , rechts T_2	151
Abb. 4.35:	Mittlere Anzahlen pro Hektar in der Verjüngung. Links: Pflanzen unter 20 cm Höhe. Rechts: Pflanzen ab 20 cm.	152
Abb. 4.36:	Mittlere Höhen der Verjüngung. Links: Pflanzen unter 20 cm Höhe. Rechts: Pflanzen ab 20 cm. Werte bei Pflanzen ab 20 cm z.T. nicht repräsentativ (siehe Text).	153
Abb. 4.37:	Mittlere Höhen der Verjüngung. Alle Pflanzen.	153
Abb. 4.38:	Biomasseindex der Verjüngung. Links: Pflanzen unter 20 cm. Rechts: Pflanzen ab 20 cm.....	155
Abb. 4.39:	Zusammensetzung der Verjüngung unter 20cm Höhe. Innerhalb der Wachstumsstadien sind die Orte mit ihren Anfangsbuchstaben gekennzeichnet (R=Ruhpolding, O=Oberammergau, T=Tölz). Die jeweils linke Säule steht für die behandelte, die rechte für die unbehandelte Parzelle.....	156
Abb. 4.40:	Zusammensetzung der Verjüngung ab 20 cm Höhe (R=Ruhpolding, O=Oberammergau, T=Tölz). Die jeweils linke Säule steht für die behandelte, die rechte für die unbehandelte Parzelle. Wo nur eine Säule zu sehen ist, ist die unbehandelte Parzelle unbesetzt. Ausnahme: Das Jugendstadium in Oberammergau. Hier ist die behandelte Parzelle unbesetzt.	157
Abb. 4.41:	Kumulierte Häufigkeitsverteilungen der Optionen „Behandelt“ und „Unbehandelt“. Die senkrechte Linie bezeichnet die 1000-Pflanzen/ha-Marke.	158
Abb. 4.42:	Robustheiten der Optionen „Behandelt“ und „Unbehandelt“ bei verschiedenen Verjüngungssollzahlen.	159
Abb. 4.43:	Pollenbeitrag eines im Ursprung (Entfernung 0) stehenden Baumes zum Saatgut benachbart stehender Bäume für <i>Pinus sylvestris</i> (Daten aus MÜLLER 1977) und <i>Tectona grandis</i> (zusammengefasst von FINKELDEY 1999). Für die Entfernung 0 sind die entsprechenden Selbstbefruchtungswahrscheinlichkeiten angegeben.	181
Abb. 5.1:	Verwendete Überlebenswahrscheinlichkeitskurven nach KÖNIG (1996) (Schnee- und Insektenschäden nach der Methode von BRÄUNIG und DIETER (1999) ergänzt) und nach BEINHOFER (2007, 2008)	200

Abb. 5.2: Nutzenfunktionen für normale Risikoaversion ($\alpha = 1/2700$) und hohe Risikoaversion ($\alpha = 2/2700$) 203

Abb. 5.3: Verteilungsfunktion der Kapitalwerte zweier Investitionen zur Verdeutlichung der Stochastischen Dominanz erster Ordnung. 205

Abb. 5.4: Stochastische Dominanz zweiter Ordnung: xya) Verteilungskurven und Fläche unter Kurve „Option 2“ bei 1500 Geldeinheiten. xyb) Integral der Differenz aus Option 2 und Option 1. 206

Abb. 5.5: Vorratsentwicklungen in der behandelten und der unbehandelten Bestände im Vergleich zur Ertragstafel (OH=Oberhöhenbonität nach ASSMANN und FRANZ 1961). 210

Abb. 5.6: Wertentwicklungen in der behandelten und der unbehandelten Bestände sowie Entwicklung der Durchforstungserlöse. 212

Abb. 5.7: Entwicklung der Durchforstungserlöse im Vergleich zu den Holzerntekosten verschiedener Verfahren. 213

Abb. 5.8: Differenzen der summarischen Deckungsbeiträge [€/ha]. (Deckungsbeitrag der behandelten Variante abzüglich Deckungsbeitrag der unbehandelten Variante). 216

Abb. 5.9: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha]. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante). 218

Abb. 5.10: Annuitäten der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteregimes [€/ha]..... 219

Abb. 5.11: Kapitalwerte der beiden Behandlungsvarianten bei veränderlichen Holzerntekosten [€/ha]..... 220

Abb. 5.12: Sensitivitätsanalyse zu Holzpreisen (Leitsortiment 2b+, Qualität BC) und Holzerntekosten. Alle Kombinationen unterhalb der jeweiligen Linie bedeuten positive Kapitalwerte, Kombinationen darüber führen zu negativen Kapitalwerten. 220

Abb. 5.13: Veränderung der Kapitalwerte bei steigendem Zinssatz [€/ha]..... 222

Abb. 5.14: Kapitalwerte der behandelten Variante unter verschiedenen Risiken 224

Abb. 5.15: Kapitalwerte der unbehandelten Variante unter verschiedenen Risiken..... 224

Abb. 5.16: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha] unter Berücksichtigung des moderaten Risikos. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante.) 225

Abb. 5.17: Differenzen der Kapitalwerte [€/ha] unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante.) 226

Abb. 5.18: Differenzen der Sicherheitsäquivalente [€/ha] unter Berücksichtigung des moderaten Risikos bei normaler und hoher Risikoaversion. (Sicherheitsäquivalent der behandelten Variante abzüglich Sicherheitsäquivalent der unbehandelten Variante.) 228

Abb. 5.19: Differenzen der Sicherheitsäquivalente [€/ha] unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos bei normaler und hoher Risikoaversion. (Sicherheitsäquivalent der behandelten Variante abzüglich Sicherheitsäquivalent der unbehandelten Variante.) 228

Abb. 5.20: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kapitalwerte unter Annahme der Überlebenswahrscheinlichkeiten bei moderatem Risiko 229

Abb. 5.21: Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kapitalwerte unter Annahme der Überlebenswahrscheinlichkeiten bei erhöhtem Risiko 230

Abb. 5.22: Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehdelter Variante zur Beurteilung nach FSD (moderates Risiko unterstellt) 231

Abb. 5.23: Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehdelter Variante zur Beurteilung nach FSD (erhöhtes Risiko unterstellt)..... 232

Abb. 5.24: Integral über die Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehdelter Variante zur Beurteilung nach SSD (moderates Risiko unterstellt) 233

Abb. 5.25: Integral über die Differenzen der kumulativen Wahrscheinlichkeiten von behandelter und unbehdelter Variante zur Beurteilung nach der SSD (erhöhtes Risiko unterstellt)..... 234

Abb. 5.26: Maximal einsetzbares Kapital für eine Jungbestandspflege ohne Ertrag. Unterstelltes Risiko: oben = moderates, unten = erhöhtes..... 236

Abb. 5.27:	Differenzen der Sicherheitsäquivalente mit JP und ohne JP bei unterschiedlichen Reduktionsfaktoren für die Ausfallwahrscheinlichkeit (Risiko = moderat, Risikoaversion: oben: normal, unten: hoch)	237
Abb. 5.28:	Differenzen der Sicherheitsäquivalente mit JP und ohne JP bei unterschiedlichen Verringerungen der Ausfallwahrscheinlichkeit (Risiko = erhöht, Risikoaversion: oben: normal, unten: hoch)	239
Abb. 5.29:	Vergleich der tatsächlichen ZE-Anfälle (1990-2003) mit den aus den Überlebenskurven errechneten ZE-Anfällen.	244
Abb. 5.30:	Differenzen der Kapitalwerte [€/ha]. (Kapitalwert der behandelten Variante abzüglich Kapitalwert der unbehandelten Variante). Einsparungen von Kulturkosten für den Folgebestand in Höhe von 2700,- € berücksichtigt.	247
Abb. 5.31:	Vergleich der Überlebenskurven nach KNOKE und SEIFERT (2008) mit einer fiktiven Überlebenskurve für Fichte mit JP (Ausfallwahrscheinlichkeit gegenüber der reinen Fichtenkurve um 1/3 reduziert).	249
Abb. 10.1:	Stammfußkarten der Flächen im Jugendstadium . Links die Situation vor dem Eingriff, rechts die Situation nach dem Eingriff. Dunkelgrün sind Fichten, die bei dem Eingriff entnommen wurden. Hellgrün sind Laub-Mischbaumarten.	XIV
Abb. 10.2:	Stammfußkarten der Flächen im Wachstumsstadium . Links die Situation vor dem Eingriff, rechts die Situation nach dem Eingriff. Dunkelgrün sind Fichten, die bei dem Eingriff entnommen wurden. Hellgrün sind Laub-Mischbaumarten. Mittelgrün in der behandelten Fläche Oberammergau: eine Tanne.	XV
Abb. 10.3:	Stammfußkarten der Flächen im Reifestadium . Links die Situation vor dem Eingriff, rechts die Situation nach dem Eingriff. Dunkelgrün sind Fichten, die bei dem Eingriff entnommen wurden. Hellgrün sind Laub-Mischbaumarten.	XVI

12 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Die wichtigsten Kriterien zur Beurteilung von Stabilität und Schutzbefähigung	14
Tab. 2.2:	Anforderungen an Schutzwälder in der Bergmischwaldzone aufgrund Standortstyp (n. FREHNER et al. 2005, erweitert) und waldbauliche Beeinflussbarkeit. Die Anforderungen hinsichtlich Mischung gelten für obermontane Ta-Bu-Wälder. Bei untermontanen Bu-Wäldern ist der Laubholzanteil etwas höher.	15
Tab. 2.3:	Anforderungen an Schutzwälder in der Bergmischwaldzone aufgrund von Naturgefahren (n. HILDEBRANDT 1999, FREHNER et al. 2005, erweitert). Voraussetzung: Minimale Anforderung aufgrund des Standortstyps erfüllt.	16
Tab. 2.4:	Richtwerte verschiedener Autoren zur Beurteilung der Schutzwirksamkeit eines Waldes (nach TOCKHORN und RIESE 1986, ZIMMERMANN und ZWINGMANN 2001, ergänzt)	18
Tab. 3.1:	Sechs Stufen der Auswertung von Experteninterviews nach MEUSER und NAGEL (1991)	46
Tab. 3.2:	Frage: haben Sie in Ihrem Bereich Probleme mit reinen Fichtenbeständen?.....	47
Tab. 3.3:	Problemfelder bei Fichtenbeständen in der Bergmischwaldzone	48
Tab. 3.4:	Strukturparameter der Fichtenbestände und Schältschäden laut Expertenbefragung	50
Tab. 3.5:	Zielsetzungen der Befragten bei der Bewirtschaftung von den Fichtenbeständen	54
Tab. 3.6:	JP-Maßnahmen in den Fichtenbeständen.....	56
Tab. 3.7:	Durchforstungsmaßnahmen in den Fichtenbeständen	56
Tab. 3.8:	Verjüngungsmaßnahmen in den Fichtenbeständen	57
Tab. 4.1	Biegespannungen σ_B (KN/cm ²) in 4 m Schafthöhe bei 28 m hohen Fichten und einer Windgeschwindigkeit von 25 m/s in 30 m Höhe (nach MARSCH 1989a).....	68
Tab. 4.2:	Stamm- und Wurzelmassen (Wurzeln 1-50 mm) von Parzellen, die im Weit- und Engverband begründet wurden (auf vergleichbaren Standorten). Bei den prozentualen Angaben ist immer die jeweilige Engverbandsfläche auf 100% gesetzt (nach NIELSEN 1990).	74

Tab. 4.3:	Grenzwerte für die kritische jährliche Verbissintensität nach EIBERLE und NIGG 1987	92
Tab. 4.4:	Verschlüsselung der Untersuchungsparzellen.....	96
Tab. 4.5:	Erhobene Größen im Altbestand	99
Tab. 4.6:	Parameter der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Bestandeshöhen. (N= Anzahl der verwendeten Bäume nach Ausreißeranalyse, in Klammern der Wert vor Ausreißeranalyse)...	101
Tab. 4.7:	Baumartenspezifische Konstanten zur Schätzung der Standfläche	102
Tab. 4.8:	Verwendete Konkurrenzindizes (nach MÜNDER et al. 2006, verändert).....	105
Tab. 4.9:	Bei der Verjüngung erhobene Größen	107
Tab. 4.10:	Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses von Kraftscher Klasse auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe.	111
Tab. 4.11:	Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses der sozialen Stellung auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe.	111
Tab. 4.12:	Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses der Vitalität auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe. Die Vitalitätsstufen (0= beste Vitalität) in Anlehnung an die Waldzustandserhebung (KENNEL 1983, BAY. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2001a), vgl. Kap. 4.2.2.2.	112
Tab. 4.13:	Kontrastkodierung zur Prüfung des Einflusses von Schneebruch auf den Zuwachs bzw. auf die Kronenansatzhöhe	112
Tab. 4.14:	Flächenbezogene unabhängige Variablen	113
Tab. 4.15:	Getestete Hypothesen.....	115
Tab. 4.16:	Ermittlung der F-Statistik für die Versuchsfaktoren.....	115
Tab. 4.17:	Parzellenbeschreibung Teil 1.	123
Tab. 4.18:	Parzellenbeschreibung Teil 2.	124
Tab. 4.19:	Strukturparameter und Mischungsanteile.....	125
Tab. 4.20:	Parameter der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung der Kronenansatzhöhen. (N= Anzahl der verwendeten Bäume nach Ausreißeranalyse, in Klammern der Wert vor Ausreißeranalyse)..	127
Tab. 4.21:	Bestimmtheitsmaße der multiplen Regressionsanalysen zwischen den unabhängigen Variablen und daraus abgeleitete Toleranzwerte sowie Ergebnisse der statistischen Tests.	128
Tab. 4.22:	Parameter der linearen Regressionsfunktion zur Beschreibung des durchschnittlichen Durchmesserzuwachses in den letzten 9 Jahren. (N= Anzahl der verwendeten Bäume nach Ausreißeranalyse, in Klammern der Wert vor Ausreißeranalyse).....	130
Tab. 4.23:	Bestimmtheitsmaße der multiplen Regressionsanalysen zwischen den unabhängigen Variablen und daraus abgeleitete Toleranzwerte sowie Ergebnisse der statistischen Tests.	132
Tab. 4.24:	p-Werte der Varianzanalysen für die Bestandesdichtewerte inkl. verwendeter Transformation. ...	136
Tab. 4.25:	p-Werte der Varianzanalysen für BHD und Schlankheitsgrade.....	140
Tab. 4.26:	p-Werte der Varianzanalysen für die HD-Entwicklung in den vorangegangenen 9 Jahren und für die Weiser $BHD^2 \cdot Höhe$ und BHD^3	144
Tab. 4.27:	p-Werte der Varianzanalysen für Kronenlängen, Bekronungsgrade und visuelle Einteilung in Kronenklassen	146
Tab. 4.28:	p-Werte der Varianzanalysen für prozentuale und absolute Häufigkeiten in den verschiedenen Vitalitätsstufen	148
Tab. 4.29:	p-Werte der Varianzanalysen für die Anteile an geschälten und gebrochenen Fichten	149
Tab. 4.30:	p-Werte der Varianzanalysen für die strukturbeschreibenden Variablen.....	151
Tab. 4.31:	p-Werte der Varianzanalysen für die Verjüngung: Anzahl und mittlere Höhen.....	154
Tab. 4.32:	p-Werte der Varianzanalysen für die Verjüngung: Biomasseindex und Vitalität	155
Tab. 4.33:	Werte für Robustheit und Sharpe Ratio beider Pflanzenkollektive.....	160

Tab. 4.34:	p-Werte der multivariaten Varianzanalysen. Die Kontraste für die Altersstufen konnten z.T. aufgrund mangelnder Freiheitsgrade nicht berechnet werden.....	162
Tab. 4.35:	Vergleich der erhobenen h/d-Verhältnisse mit Werten aus dem Fichten-Durchforstungsversuch in Freising (nach HUSS und HAHN 2007).	168
Tab. 4.36:	Modellwerte (h/d) für optimale Wuchseigenschaften der Fichte im Hinblick auf Stabilität gegen Sturm für vier Vegetationszonen der Niederen Tatra/CSSR (KONÓPKA 1978, slowak., zit n. SCHMIDT-VOGT 1989).....	170
Tab. 4.37:	h/d-Werte von Fichten der Oberschicht verschiedener Wälder (Alter ca. 100 Jahre) (nach MOSANDL 1993).....	170
Tab. 4.38:	Erhobene Kronenlängen und Bekronungsgrade.....	173
Tab. 4.39:	Modellwerte (Kronenlängen und Bekronungsgrade) für optimale Wuchseigenschaften der Fichte im Hinblick auf Stabilität gegen Sturm für vier Vegetationszonen der Niederen Tatra/CSSR (KONÓPKA 1978, slowak., zit n. Schmidt-Vogt 1989)	173
Tab. 4.40:	Anteil der Kronenklassen an der Bestandesgrundfläche: Vergleich zwischen der vorliegenden Untersuchung und einer Untersuchung des Schutzwaldes am Grünten (Allgäu) (nach TOCKHORN und RIESE 1986). Lang: Bekronung über 50%; mittel: Bekronung zwischen 50% und 25%; kurz: Bekronung unter 25%.....	174
Tab. 5.1:	Holzerntekosten für sechs Ernteverfahren [€/Efm=Erntefestmeter].....	190
Tab. 5.2:	Kosten für Bestandesbegründung und Jugendpflege	190
Tab. 5.3:	Güteklassenverteilung	191
Tab. 5.4:	Verwendete Durchschnittspreise nach Güte und Stärkeklassen ohne MwSt. [€/Efm].	192
Tab. 5.5:	Parameter, Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Regressionsgleichungen der Vorratsentwicklungen	211
Tab. 5.6:	Parameter, Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Regressionsgleichungen der Abtriebswerte.....	213
Tab. 5.7:	Parameter, Bestimmtheitsmaße, mittlere Abweichung und Ergebnisse der Shapiro-Wilk-Tests für die Regressionsgleichungen der Holzerntekosten.	214
Tab. 5.8:	Ein- und Auszahlungen in den beiden Behandlungsvarianten gemäß den Regressionsanalysen in €/ha.....	215
Tab. 5.9:	Deckungsbeiträge der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteverfahren [€/ha].	216
Tab. 5.10:	Kapitalwerte der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteverfahren [€/ha].....	217
Tab. 5.11:	Annuitäten der beiden Behandlungsvarianten bei verschiedenen Holzernteverfahren [€/ha].	218
Tab. 5.12:	Interne Verzinsung	223
Tab. 5.13:	Kapitalwerte und deren Standardabweichungen unter Berücksichtigung des moderaten Risikos..	223
Tab. 5.14:	Kapitalwerte und deren Standardabweichungen unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos. ...	223
Tab. 5.15:	Sicherheitsäquivalente bei normaler und hoher Risikoaversion unter Berücksichtigung des moderaten Risikos.	227
Tab. 5.16:	Sicherheitsäquivalente bei normaler und hoher Risikoaversion unter Berücksichtigung des erhöhten Risikos.	227
Tab. 5.17:	Übersicht der Dominanzen aus $\mu - \sigma$ -Regel und stochastischer Dominanz (beh = behandelt, unbeh = unbehandelt, X = keine Entscheidung).....	235
Tab. 10.1a:	Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Sturmschäden – Teil 1: Einzelbaumfaktoren	I
Tab. 10.1b:	Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Sturmschäden – Teil 2: Bestandesfaktoren.....	V
Tab. 10.2a:	Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Schneebruchschäden – Teil 1: Einzelbaumfaktoren	IX
Tab. 10.2b:	Untersuchungen zu Einflussfaktoren für Schneebruchschäden – Teil 2: Bestandesfaktoren	X
Tab. 10.3:	Parzellenwerte aus der retrospektiven Feldstudie: Altbestand	XI
Tab. 10.4:	Parzellenwerte aus der retrospektiven Feldstudie: Verjüngung.....	XIII

Tab. 10.5:	Sortenverteilung des stehenden Vorrats auf den Untersuchungsparzellen.....	XVII
Tab. 10.6:	Sortenverteilung des entnommenen Vorrats auf den Untersuchungsparzellen.....	XVII
Tab. 10.7:	Abtriebswerte und Erntekosten je Hektar für die stehenden Vorräte auf den Untersuchungsparzellen.....	XVIII
Tab. 10.8:	Durchforstungserlöse und Erntekosten je Hektar für die entnommenen Vorräte auf den Untersuchungsparzellen.....	XVIII
Tab. 10.9:	Biometrische und Mechanistische Sturmschadensmodelle und verwendete Variablen	XIX