

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung

Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft –
Finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von
Diversifikationseffekten

Bernhard Beinhofer

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. R. Schopf

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Th. Knoke
2. Univ.-Prof. Dr. R. Mosandl

Die Dissertation wurde am 03.02.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 19.05.2009 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Vorwort	1
2 Einleitung	2
2.1 Allgemeine Einführung in den Themenkomplex	2
2.2 Hypothesen.....	5
3 Stand des Wissens	7
3.1 Forstökonomische Ausgangssituation in Deutschland.....	7
3.2 Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft	9
3.2.1 Wald als Teil eines größeren Portfolios	10
3.2.1.1 Amerikanische Studien	10
3.2.1.2 Skandinavische Studien.....	14
3.2.1.3 Deutsche Studien.....	17
3.2.1.4 Waldbesitz und Inflation	18
3.2.2 Diversifikation angebauter Baumarten.....	19
3.2.2.1 Portfolios aus mehreren Baumarten	20
3.2.2.2 Portfolios aus Fichte und Buche.....	23
3.2.3 Diversifikation der produzierten Holzsortimente.....	26
3.2.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Forstwissenschaft	28
3.3 Schlussfolgerungen	29
4 Material und Methoden	31
4.1 Abbildung der Bestandesentwicklung.....	31
4.1.1 Konventionell erzeugte Bestände.....	31
4.1.2 „Optimierte“ Bestände	38
4.1.2.1 Bestände zur Wertholzproduktion.....	38
4.1.2.2 Bestände zur Sägeholzproduktion.....	43
4.1.2.3 Bestände zur Industrieholzproduktion	45
4.2 Finanzielle Bewertung.....	46
4.2.1 Monte-Carlo-Simulation	47
4.2.2 Die Annuitätenmethode.....	48
4.3 Integration von Risikofaktoren.....	49
4.3.1 Szenarioanalyse.....	49
4.3.2 Holzpreise und Holzpreismodelle	50
4.3.2.1 Holzpreissimulation	51
4.3.2.2 Holzpreismodell „Historisch“ (Referenz)	53
4.3.2.3 Holzpreismodell „Brennholz“	55
4.3.2.4 Holzpreismodell „Energie“	57
4.3.3 Risiko von Kalamitäten.....	59
4.3.3.1 Kalkulation von Überlebenswahrscheinlichkeiten.....	59
4.3.3.2 Simulation von Kalamitätsrisiken der vier Hauptbaumarten	60
4.3.3.3 Risikomodell mit vergrößerten Naturgefahren	63
4.3.3.3.1 Erwartete Klimaänderungen.....	63
4.3.3.3.2 Einschätzung der Baumarten.....	63
4.3.3.3.3 Abgeleitete Überlebenswahrscheinlichkeiten	67
4.4 Portfoliooptimierung	69
4.4.1 Die Portfoliotheorie.....	69
4.4.2 Risikokennzahlen zur Portfoliooptimierung	71
4.4.2.1 Klassische Ansätze.....	72

4.4.2.2	Downside-Risikomaße	74
4.4.2.2.1	Quantilbasierte Downside-Risikomaße	75
4.4.2.2.2	Lower Partial Moments	78
5	Ergebnisse	82
5.1	Ergebnisse zu den Einzelbeständen	82
5.1.1	Holzanfälle der Bestände	82
5.1.2	Einnahmen aus der Holzernte	87
5.1.3	Verteilungen finanzieller Kennwerte	93
5.1.3.1	Holzpreise	94
5.1.3.2	Annuitäten von Einzelbeständen	94
5.1.3.3	Annuitäten von Portfolios	96
5.1.4	Optimale Umtriebszeiten und Durchforstungsarten	97
5.1.5	Finanzielle Kennzahlen der Einzelbestände	97
5.2	Methodenstudie	101
5.2.1	Darstellung effizienter Portfolios	101
5.2.1.1	Klassischer Portfolioansatz nach MARKOWITZ	101
5.2.1.1.1	Nach der Standardabweichung effiziente Portfolios	101
5.2.1.1.2	Nach dem Sicherheitsäquivalent effiziente Portfolios	105
5.2.1.2	Anwendung von Downside-Risikomaßen	108
5.2.1.2.1	Nach der Downside-Wahrscheinlichkeit effiziente Portfolios	108
5.2.1.2.2	Nach dem Value at Risk effiziente Portfolios	109
5.2.1.2.3	Nach dem Downside-Erwartungswert effiziente Portfolios	113
5.2.1.2.4	Nach dem Expected Shortfall effiziente Portfolios	114
5.2.1.2.5	Nach der Downside-Varianz effiziente Portfolios	116
5.2.2	Vergleich der optimalen Portfolios	117
5.2.3	Vergleich des parametrisch und aus Simulationsdaten ermittelten Value at Risk	121
5.2.3.1	Vergleich des Value at Risk der Einzelbestände	122
5.2.3.2	Vergleich der optimalen Portfolios	123
5.3	Szenarioanalyse	125
5.3.1	Analyse veränderter Holzpreise	126
5.3.1.1	Veränderung der Kennwerte der Einzelbestände	126
5.3.1.2	Veränderung der optimalen Portfolios	129
5.3.2	Analyse steigender Naturgefahren	135
5.3.2.1	Veränderung der Kennwerte der Einzelbestände	135
5.3.2.2	Veränderung der optimalen Portfolios	137
5.3.3	Analyse veränderter Zinsforderungen	144
5.3.3.1	Veränderung der Kennwerte der Einzelbestände	144
5.3.3.2	Veränderung der optimalen Portfolios	146
6	Diskussion	151
6.1	Beantwortung der Hypothesen	151
6.2	Datenmaterial	154
6.2.1	Abbildung der Bestandesentwicklung	154
6.2.2	Wertholzbestände	157
6.2.3	Säge- und Industrieholzbestände	158
6.2.4	Einschätzung des Kalamitätsrisikos	159
6.2.5	Probleme mit Prognosen	159
6.2.5.1	Unsicherheit der Holzpreisentwicklung	160
6.2.5.2	Unsicherheit der Risikoentwicklung	161
6.3	Methoden	162
6.3.1	Simulation schwankender Holzpreise	162

6.3.2	Übertragung der Holzpreisschwankungen über den Preisquotienten	163
6.3.3	Die Monte-Carlo-Simulation.....	166
6.3.4	Diskussion der verschiedenen Risikomaße	167
6.3.4.1	Klassische Risikomaße.....	167
6.3.4.2	Downside-Risikomaße	168
6.3.4.2.1	Value at Risk	169
6.3.4.2.2	Expected Shortfall.....	171
6.3.4.2.3	LPM ₀	172
6.3.4.2.4	LPM ₁	173
6.3.4.2.5	LPM ₂	174
6.3.4.3	Verhältnisse zu anderen Risikomaßen	174
6.4	Einordnung der Studie in den wissenschaftlichen Kontext.....	177
6.4.1	Studien zur Sortimentsdiversifikation.....	177
6.4.2	Studien zur Baumartendiversifikation.....	179
6.5	Schlussfolgerungen	182
6.5.1	Empfehlung zu Risikomaßen	182
6.5.2	Schlussfolgerungen für die Wissenschaft	183
6.5.2.1	Erforderliche Verbesserung der Datengrundlage.....	183
6.5.2.2	Erweiterung des Portfolioansatzes	184
6.5.3	Schlussfolgerungen für die Praxis.....	185
6.5.3.1	Finanziell optimiertes Bestockungsziel.....	185
6.5.3.2	Waldbauliche Schlussfolgerungen	185
7	Zusammenfassung.....	187
8	Abstract	191
9	Literaturverzeichnis.....	195
10	Anhang	211

Abkürzungsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen	Bedeutung der Abkürzungen
€/fm	Euro pro Festmeter
€/ha*a	Euro pro Hektar und Jahr
Bu	konventionell erzeugter Buchenbestand
BuIH	finanziell optimierter Buchenindustrieholzbestand
BuSH	finanziell optimierter Buchensägeholzbestand
BuWH	finanziell optimierter Buchenwertholzbestand
CAPM	Capital Asset Pricing Model
dg	Durchmesser des Grundflächenmittelstammes
Efm/ha*a	Erntefestmeter pro Hektar und Jahr
Ei	konventionell erzeugter Eichenbestand
EiIH	finanziell optimierter Eichenindustrieholzbestand
EiSH	finanziell optimierter Eichensägeholzbestand
EiWH	finanziell optimierter Eichenwertholzbestand
EPF	Effiziente Portfolios, die für eine Annuität vorteilhafte bzw. risikoärmste Mischung
Fi	konventionell erzeugter, ungeasteter Fichtenbestand
FiAst	konventionell erzeugter, geasteter Fichtenbestand
FiIH	finanziell optimierter Fichtenindustrieholzbestand
FiSH	finanziell optimierter Fichtensägeholzbestand
FiWH	finanziell optimierter Fichtenwertholzbestand
fm	Festmeter
IH	Industrieholz
IH+	Preismodell Brennholz: erweitertes Industrieholzsortiment
Kie	konventionell erzeugter, ungeasteter Kiefernbestand
KieAst	konventionell erzeugter, geasteter Kiefernbestand
KieIH	finanziell optimierter Kiefernindustrieholzbestand
KieSH	finanziell optimierter Kiefern-sägeholzbestand
KieWH	finanziell optimierter Kiefernwertholzbestand
LPM	Lower Partial Moments
LPM ₀	Lower Partial Moments nullter Ordnung, Downside-Wahrscheinlichkeit
LPM ₁	Lower Partial Moments erster Ordnung, Downside-Erwartungswert
LPM ₂	Lower Partial Moments zweiter Ordnung, Downside-Varianz
SH	Sägeholz
VaR	Value at Risk
WH	Wertholz

1 Vorwort

Vielleicht ist die Erstellung einer Dissertation mit der Besteigung eines 8.000ers, z.B. des Nanga Parbat zu vergleichen, wenngleich die Gefahr dabei umzukommen doch geringer ist als an diesem „Schicksalsberg“. Gleichzeitig kommt es einem als Doktorand manchmal so vor, als müsse man nicht nur den Gipfel erreichen, sondern dort auch noch ein meterhohes Steinmandl errichten und das mit nur halb voller Sauerstoffflasche. Jedenfalls benötigt man für eine Dissertation, wie auch am Nanga Parbat, erfahrene „Bergführer“, die die Route kennen und einen auf Kurs halten, wenngleich man den Weg selber gehen muss. Für meine Dissertation habe ich diese in Prof. Dr. Thomas Knoke und Prof. Dr. Reinhard Mosandl gefunden, denen ich hiermit ganz herzlich für ihre Unterstützung danke. Ihre Anregungen und konstruktiven Vorschläge haben diese Arbeit stets große Schritte nach vorne gebracht. Für die Möglichkeit zur Promotion und Bearbeitung des dazugehörigen Forschungsprojekts gilt mein ganz besonderer Dank Prof. Dr. Thomas Knoke.

Für beide Unternehmungen benötigt man daneben Gleichgesinnte, die alle dasselbe Ziel haben, an einem Strang in die gleiche Richtung ziehen, einander unterstützen und für eine gute Arbeitsatmosphäre sorgen. Dafür ein ausdrückliches Dankeschön an meine Doktorandenkollegen Andreas Hahn, Sebastian Stang, Sebastian Höllerl, Patrick Hildebrandt, Johannes Wurm, Andreas Nenninger, Christian Clasen, Verena Mostert und Baltazar Calvas. Für die Unterstützung in formalen und administrativen Angelegenheiten gilt mein Dank unserer Sekretärin Petra Zeller. Außerdem möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Fachgebiets für Waldinventur und nachhaltige Nutzung und des Lehrstuhls für Waldbau für die kollegiale Arbeitsatmosphäre und die Unterstützung in den letzten drei Jahren bedanken.

Zum Gelingen einer solchen „Expedition“, sowohl im Himalaja als auch bei der Erstellung einer Dissertation, sind immer Leute notwendig, die einem helfen und zuarbeiten. Für ihre zuverlässige und engagierte Unterstützung möchte ich mich bei Jennifer Englert, Klara Maria Zechner, Christoph Kohler, Christian Grovermann und Kristin Dzurella bedanken. Mein besonderer Dank gilt Susanne Haase, die mit ihrer Bachelorarbeit ganz wesentlich zum Kapitel „Stand des Wissens“ beigetragen hat und mich beim Korrekturlesen meiner Manuskripte hervorragend unterstützte.

Für Expeditionen sowohl zum Nanga Parbat als auch zur Erlangung des Dokortitels gilt der Spruch „Ohne Moos nix los!“. Für die Finanzierung des Forschungsprojekts „Optimierung der Produktpalette: Diversifikation der Holzsortimente als Chance für den Waldbesitzer“, in dessen Rahmen mir die Erstellung dieser Dissertation möglich war, möchte ich mich hiermit beim Kuratorium für forstliche Forschung der Bayerischen Forstverwaltung ganz herzlich bedanken!

2 Einleitung

2.1 Allgemeine Einführung in den Themenkomplex

Mit seinem berühmten, 1886 erschienen Buch „Der Gemischte Wald, seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft“ gilt KARL GAYER als ein bedeutender Vertreter und wichtigster Begründer des Mischwaldgedankens in Deutschland (RUBNER, 1994). Somit ist es ein wesentlicher Verdienst von KARL GAYER, dass die Mischwaldidee weite Verbreitung fand (MOSANDL, 2007). Auch die heute angestrebte „naturnahe Forstwirtschaft“ wäre ohne GAYERS Wirken nur schwer vorstellbar (BURSCHEL, 2007; RITTERSHOFER und SCHÖLCH, 2007). KARL GAYER und später ALFRED MÖLLER legten die Fundamente einer Philosophie, die man mit „Zurück zur Natur“ umschreiben könnte (SELING, 1998; SCHÜTZ, 1999). Das Wirken von KARL GAYER führte auch zur Verbreitung des Femelschlages, kombiniert mit dem künstlichen Voranbau der Buche (MANTEL, 1957), der für GAYER das geeignete Verfahren zur Verjüngung oder Begründung von Mischbeständen war. Im Nachhinein ist allerdings festzustellen, dass die Umsetzung GAYER'scher Ideen im 20. Jahrhundert vielerorts scheiterte, woran überhöhte Wildbestände maßgeblich beteiligt waren (BURSCHEL, 2007). Nichts desto trotz sprechen gerade heute viele Faktoren für gemischt aufgebaute Wälder (z.B. VON LÜPKE, 2004; KÖLLING und AMMER, 2006). Die „naturnahe Forstwirtschaft“ mit gemischten, ungleichaltrigen Beständen stößt auch international auf zunehmendes Interesse (z.B. POMMERENING, 2006), was sich z.B. an der seit etwa 1990 massiv ansteigenden Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen über Mischbestände zeigt (KNOKE et al., 2008).

Ein stets betonter Vorteil von Mischwäldern ist die höhere Stabilität gegenüber biotischen und abiotischen Risiken. So betonte schon HEINRICH COTTA (1828), dass in Mischbeständen weder Sturm noch Insekten so viel Schaden anrichten können wie in Reinbeständen. Auch KARL GAYER stellte fest, dass unter dem Einfluss von Kalamitäten nur ein Mischwald eine gesicherte Bewirtschaftung ermöglicht (SEITSCHEK, 1991b). Die höhere Stabilität von Mischbeständen gegenüber Naturgefahren wurde auch in neueren wissenschaftlichen Studien bestätigt (vgl. hierzu KNOKE et al., 2008).

Ein weiteres, häufig genanntes Argument für Mischbestände ist eine höhere Zuwachsleistung. Zwar befürchtete GEORG LUDWIG HARTIG (1804) gravierende Ertragseinbußen in Mischbeständen, COTTA (1828) hingegen beurteilte Mischbestände als wuchsfreudiger (PRETZSCH, 2003). Auch GAYER (1886) teilte diese Einschätzung von COTTA und vertrat zudem die Auffassung, dass in gemischten Wäldern auch wertvolleres Nutzholz produziert werden kann (PRETZSCH, 2003). Noch euphorischer hinsichtlich des Potentials der Holzerzeugung äußerte sich MÖLLER (1922). Allerdings konnten weder GAYER, noch später MÖLLER, der die GAYER'schen Ideen weiterentwickelte (WINDISCH, 2007), ihre Ansichten mit Zahlen untermauern (BURSCHEL, 2007). Aufgrund der optimistischen Äußerungen zur Leistungsfähigkeit von Mischbeständen forderte WIEDEMANN (1951), dass die Mischbestandseffekte quantifiziert werden müssten und nicht nur die gefühlsmäßigen Einschätzungen den Waldbau leiten sollten. Eine zahlenmäßige Analyse der ertragskundlichen Effekte war aber erst mit Hilfe langfristig beobachteter Versuchsflächen möglich (PRETZSCH, 2003). In Untersuchungen konnte

gezeigt werden, dass Mischbestände nicht zwangsläufig mehr leisten als Reinbestände und ein diesbezügliches Potential besonders in Mischungen von Baumarten liegt, die verschiedene ökologische Nischen besetzen (vgl. hierzu KNOKE et al., 2008).

Einen weiteren Aspekt der Mischbestandsdiskussion äußerte COTTA schon 1828. Er wies darauf hin, dass in Mischwäldern Holz für die verschiedensten Verwendungen produziert wird (PRETZSCH, 2003). Folglich sind solche Wälder auch als „gemischter Warenkorb“ zu interpretieren, der nicht nur Holz verschiedener Baumarten, sondern auch gleichzeitig verschiedene Holzqualitäten und Sortimente innerhalb einer Baumart liefert und damit viele unterschiedliche Absatzmärkte bedienen kann. Damit wäre ein Forstbetrieb nicht so stark von den Preisschwankungen eines Produkts betroffen, könnte er doch auch alternative Holzsortimente liefern. Bereits HILF (1933) wies darauf hin, dass sich ein Preissturz 1931 auf astiges Sägeholz viel stärker auswirkte als auf Wertholz, weshalb er dessen Produktion empfahl. In jüngerer Zeit stellten MOSANDL und KNOKE (2002a,b) fest, dass sich die Wertholz- und die Sägeholzproduktion bei Fichte gut ergänzen würden, da sich die Preise unabhängig voneinander entwickeln. Darüber hinaus ergeben sich auch durch den Anbau verschiedener Baumarten Möglichkeiten zur Reduktion von Einnahmeschwankungen (z.B. KNOKE et al., 2005). Über einen solchen Portfolioansatz könnten auch finanziell vorteilhafte Baumartenanteile für die strategische Planung (allgemeines Bestockungsziel) hergeleitet werden. Allerdings wurden die finanziellen Konsequenzen gemischter Wälder bisher nur in Ansätzen quantifiziert (vgl. KNOKE et al., 2008 und Kapitel 3).

Eine Folge dieser Situation ist sicherlich, dass bis heute finanzielle Aspekte bei der Baumarten- und Mischungswahl gegenüber den erwarteten ökologischen Konsequenzen oftmals in den Hintergrund treten. So orientiert sich z.B. das Bestockungsziel in der Forsteinrichtung Bayerns alleine an der Standortserkundung und am Wald funktionsplan (StMELF, 1982). Dies wird ergänzt durch die Forderung, Mischwälder aus einem Grundgerüst von Baumarten der regionalen natürlichen Waldzusammensetzung zu bilden. Über die weiteren beteiligten Baumarten entscheidet somit nur die Standortserkundung, wodurch buchendominierte Mischwälder eine wichtige Orientierung für den Waldbau darstellen (SEITSCHEK, 1983; 1986; 1988; 1989; 1991a,b). Dazu passt auch das Ziel, in bisherigen Reinbeständen nach den Ergebnissen der Standortserkundung Mischbaumarten vorzusehen, wobei ein Laubholzanteil von mindestens 30 % nicht unterschritten werden soll (z.B. SEITSCHEK, 1984; 1988; 1989). Im Rahmen der Diskussion über die Folgen des Klimawandels für unsere Wälder wird die Forderung nach Mischbeständen unter besonderer Berücksichtigung der Buche erneut bekräftigt (z.B. KÖLLING und AMMER, 2006; KÖLLING et al., 2008). Seit den von GAYER im Jahre 1891 formulierten waldbaulichen Bekenntnissen mit der Forderung nach Erziehung standortsgemäßer Mischbestände mit einem ausreichenden Laubholzanteil (BURSCHEL, 2007), hat sich somit nichts grundlegend verändert.

Vor diesem Hintergrund ist das Hauptziel dieser Arbeit, die finanziellen Effekte einer Mischung der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche zu quantifizieren bzw. die methodischen Möglichkeiten hierfür darzustellen. Ein besonderes Augenmerk liegt neben den Auswirkungen des Anbaus mehrerer Baumarten, auf den Diversifikationseffekten, welche durch Produktion unterschiedlicher Holzsortimente innerhalb der einzelnen Baumarten (jeweils Wert-, Säge- und Industrieholz) erzielt werden. Die methodische Basis dieser Untersuchung

bildet die Portfoliotheorie, die von HARRY MARKOWITZ erstmals 1952 präsentiert wurde. Im Jahre 1990 erhielt er dafür den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften (KNOKE und HAHN, 2007). Mit Hilfe der Portfoliotheorie ist es möglich, die finanziellen Vorteile einer Investition in eine geeignete Mischung aus mehreren Geldanlagen gegenüber einer Einzelinvestition zu quantifizieren. Somit können die Auswirkungen eines „gemischten Warenkorbes“ quantitativ und nicht wie bisher zumeist qualitativ beschrieben und seine finanziell vorteilhafte Zusammensetzung ermittelt werden.

Waldflächen sind allerdings nicht mit einzelnen Sortimenten, sondern mit Beständen verschiedener Baumarten bestockt. Für die Produktion der berücksichtigten Produkte innerhalb einer Baumart sind dabei teilweise unterschiedliche Erziehungskonzepte notwendig, weshalb beispielsweise zwischen geasteten und ungeasteten Fichtenbeständen differenziert wird. In einem ersten Portfolio werden solch konventionell erzogene Bestände, deren Behandlungskonzepte und Umtriebszeiten sich am praxisüblichen Vorgehen in Deutschland orientieren, kombiniert.

Ein Problem für die sortimentsweise Diversifizierung stellt allerdings der gekoppelte Anfall von Sortimenten innerhalb eines Bestandes dar (BEINHOFER und KNOKE, 2007b). So ist es beispielsweise problematisch, wenn man die durch die Holzpreisfluktuation bedingten Einnahmeschwankungen aus der Sägeholzproduktion mit Hilfe von Wertholzerzeugung abpuffern möchte, bei der Erziehung und Ernte von wertholzhaltigen Beständen aber wiederum viel Sägeholz anfällt. Somit wird aus den wenigen, bisher durchgeführten Untersuchungen gefolgert, dass für eine erfolgreiche Sortimentsdiversifikation möglichst nur ein Sortiment je Mischungskomponente anfallen sollte (BEINHOFER und KNOKE, 2007b). Um diese Folgerung auf Stichhaltigkeit zu überprüfen, wurden neben konventionell erzogenen Beständen auch gemäß diesen Untersuchungsergebnissen gestaltete Bestände in einem gesonderten Portfolio zusammengefasst. So fällt in diesen Beständen entweder nur ein Sortiment an oder es dominiert zumindest die Wertleistung. Zudem wurde auch eine finanzielle Optimierung der Bestände durchgeführt.

Anzumerken bleibt, dass in der Portfoliooptimierung nur Flächenanteile der Baumarten, bzw. der Bestände zur Produktion unterschiedlicher Holzsortimente (z.B. geastete und ungeastete Fichtenbestände) festgelegt werden. Dies gilt auch für die optimierten Beständen. Eine synchrone Optimierung von z.B. Umtriebszeit, Durchforstung und des Portfolios wurde nicht durchgeführt. Vielmehr wurden die „optimierten“ Portfoliobestandteile in einem ersten Schritt in einer einzelbestandesweisen Betrachtung optimiert. Erst in einem zweiten Schritt erfolgte dann die Ermittlung optimaler Anteile dieser Bestände an einem Portfolio.

Aufgrund der Kritik an den Annahmen, die der Portfoliotheorie zugrunde liegen (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005), soll in einer Methodenstudie die Optimierung dieser Baumarten- und Sortimentsportfolios nicht nur mit dem klassischen Ansatz, sondern auch mit verschiedenen innovativen Bewertungsmethoden (Downside-Risikomodelle) durchgeführt werden, so dass der Transfer von Optimierungsmethoden auf Belange der Forstwissenschaft erfolgt. Dies betont den methodischen Schwerpunkt der vorliegenden finanziellen Studie.

Für die Analyse der langen forstlichen Betrachtungshorizonte spielt das Risiko eine entscheidende Rolle. Ein bedeutender Risikofaktor in der Forstwirtschaft, der auch in diese Arbeit

integriert wird, sind die Schwankungen der Holzpreise. Daneben wird die Forstwirtschaft regelmäßig durch Kalamitäten und ihre Folgen erschüttert, so dass auch dieser Risikofaktor mit Hilfe von altersabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeiten einbezogen wird. Gleichzeitig ist in den langen Betrachtungszeiträumen davon auszugehen, dass sich die Rahmenbedingungen (z.B. Holzpreise) unter denen Forstwirtschaft stattfindet, verändern. Dieser Aspekt wurde im Folgenden im Rahmen einer Szenarioanalyse berücksichtigt. Aufgrund theoretischer Schwierigkeiten beschränkt sich die gesamte Untersuchung jedoch auf bestandesweise Mischungen von Baumarten. Es werden also keine Einflüsse auf Volumenleistung, Risikodisposition und Holzqualität durch Baumarteninteraktionen betrachtet.

2.2 Hypothesen

Im Folgenden werden die gestellten Hypothesen dargelegt, die in dieser Arbeit überprüft werden sollen. Diese ergeben sich aus dem beschriebenen Hauptanliegen, optimale Produktportfolios zu ermitteln, wobei auch evaluiert werden soll, welche Effekte verschiedene Optimierungskennzahlen und sich ändernde Umgebungsbedingungen haben. Die ersten drei Hypothesen werden im Rahmen einer Methodenstudie überprüft, während die vierte Hypothese in der Szenarioanalyse analysiert wird. Dabei werden die Hypothesen 1 bis 4.2 sowohl am Portfolio aus konventionell erzeugten Beständen als auch aus optimierten Beständen unter Einbeziehung identischer Mischungsbestandteile betrachtet.

Entsprechend der Themenstellung dieser Arbeit soll mit der ersten Hypothese geklärt werden, ob sich durch die Produktion verschiedener Holzsortimente der vier Hauptbaumarten überhaupt Diversifikationseffekte ergeben und damit eine Mischung aus finanzieller Sicht sinnvoll ist. Die erste Hypothese lautet somit:

- **Hypothese 1: Durch die Produktion von Industrieholz, Sägeholz und Wertholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche ergeben sich keine Diversifikationseffekte.**

Nachdem die Portfoliotheorie nicht nur auf konventionell erzeugte Bestände angewendet werden soll, ist auch zu prüfen, ob durch finanziell und bezüglich des Sortimentsanfalls optimierte Bestände deutlichere Diversifikationseffekte erzielt werden und sich somit eine entsprechende Optimierung auszahlt. Dies schlägt sich in der zweiten Hypothese nieder, die wie folgt lautet:

- **Hypothese 2: Aus den „optimierten“ Beständen zusammengesetzte Portfolios weisen keine höheren Diversifikationseffekte auf als die aus konventionell bewirtschafteten Beständen.**

Zudem soll herausgearbeitet werden, wie sich die Zusammensetzung und die Eigenschaften optimaler Portfolios mit den unterschiedlichen verwendeten Optimierungsansätzen verändern. Hier wäre es bedenklich, wenn sich sehr unterschiedliche optimale Mischungen ergäben, so dass diese lediglich von der gewählten Methode abhängen. Daraus folgt die dritte Hypothese mit folgendem Wortlaut:

- **Hypothese 3: Die Zusammensetzung der vorteilhaften Portfolios hängt nicht vom verwendeten Optimierungsansatz ab.**

An diese ersten drei Hypothesen schließt sich eine vierte Hypothese mit drei Unterhypothesen an, die im Rahmen einer Szenarioanalyse geprüft werden sollen. Hierbei soll geklärt werden, als wie stabil sich optimale Portfolios in einer sich ändernden Welt darstellen.

- **Hypothese 4: Geänderte Rahmenbedingungen führen nicht zu einer veränderten Zusammensetzung der optimalen Portfolios.**

Aufgrund aktueller Entwicklungen, wie dem Trend zu Großsägewerken, der Globalisierung und damit neuer Absatzmärkte in den rohstoffhungrigen Schwellenländern, aber auch dem massiven Trend hin zu einer verstärkten energetischen Nutzung von Holz, ist es unwahrscheinlich, dass sich die Holzmärkte wie in der Vergangenheit entwickeln. Der Einfluss der Holzpreise auf die vorteilhaften Portfolios soll in der Hypothese 4.1 geprüft werden, die folgendermaßen formuliert ist:

- **Hypothese 4.1: Unterschiedliche Holzpreismodelle führen nicht zu einer veränderten Zusammensetzung der optimalen Portfolios.**

Aber auch der Klimawandel mit prognostizierten häufigeren Extremereignissen, wie beispielsweise Stürmen und Trockenperioden, wird die Bedingungen für die Forstwirtschaft in Deutschland verändern. Besonders die Brotbaumart Fichte soll hiervon betroffen sein. Wie sich ein erhöhtes Risiko von Naturgefahren auf die optimalen Portfolios auswirkt, soll über die Beantwortung der Hypothese 4.2 analysiert werden. Diese lautet wie folgt:

- **Hypothese 4.2: Ein erhöhtes Risiko von Naturgefahren, insbesondere für die Fichte, führt zu keiner Veränderung der optimalen Portfolios.**

Zum Abschluss sind die Effekte einer Veränderung der ökonomischen Rahmenbedingungen abzu prüfen. Diese können Einfluss auf die an den Wald gestellten Verzinsungsforderungen haben. Um dies zu berücksichtigen, ist für die Hypothese 4.3 die Veränderung der optimalen Portfolios mit sich ändernden Kalkulationszinssätzen zu überprüfen. Im Portfolio aus optimierten Beständen werden für diese Hypothese die für den jeweiligen Zinssatz optimalen Behandlungskonzepte und Umtriebszeiten verwendet. Die Hypothese 4.3 heißt entsprechend:

- **Hypothese 4.3: Eine Variation des Kalkulationszinssatzes führt zu keiner Veränderung der Zusammensetzung der optimalen Portfolios.**

Bevor im Kapitel „Material und Methoden“ die Herleitung der Eingangsdaten dieser Untersuchung sowie das theoretische Fundament erläutert werden, sollen im Kapitel „Stand des Wissens“ die in der Forstwissenschaft bisher durchgeführten Portfoliobetrachtungen zusammengefasst werden. Daneben werden die forstökonomischen Rahmenbedingungen in Deutschland kurz beleuchtet. Im Ergebniskapitel werden dann die erzielten Resultate der Methodenstudie und anschließend der Szenarioanalyse dargestellt. Anschließend werden die erzielten Ergebnisse anhand der Hypothesen und den Resultaten anderer Untersuchungen diskutiert, bevor in der „Zusammenfassung“ noch ein kurzer Überblick über die gesamte Arbeit gegeben wird.

3 Stand des Wissens

3.1 Forstökonomische Ausgangssituation in Deutschland

Zu Lebzeiten von KARL GAYER dominierte zum einen eine quantitativ orientierte Ertragskunde mit der Entwicklung von Ertragstafeln und zum anderen auf dem Gebiet der Forstökonomie die Bodenreinertragslehre mit einer mathematischen Durchdringung der Forstwirtschaft (RITTERSHOFER und SCHÖLCH, 2007), die einen deutlichen Gegensatz zu seinen ökologischen Postulaten bildeten (BURSCHEL, 2007). GAYER stand der Bodenreinertragslehre als ökologisch argumentierender Anhänger der Waldreinertragslehre ablehnend gegenüber (RUBNER, 1994; WINDISCH, 2007).

Bereits 1822 führte dagegen FRIEDRICH WILHELM LEOPOLD PFEIL aus, dass nicht die Produktion der größten Nutzholzmenge, sondern der höchste Bodenreinertrag das Ziel der Forstwirtschaft darstellen sollte. So empfahl er die Anwendung von Zinssätzen auf das investierte Kapital und die Verwendung der Umtriebszeit mit dem höchsten Bodenreinertrag (MÖHRING, 2001). Damit führte er sehr früh das finanzwirtschaftliche Denken in die Forstwirtschaft ein (HASEL und SCHWARTZ, 2002). In der Folge betonte JOHANN CHRISTIAN HUNDESHAGEN die Eigenschaft des Holzvorrates als gebundenes Kapital, für das Zinsen berücksichtigt werden sollten (MÖHRING, 2001). Einen ähnlichen forstökonomisch-mathematischen Ansatz wie GOTTLÖB KÖNIG stellte MARTIN FAUSTMANN im Jahre 1849 in seinem weltberühmten Artikel „Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände in der Waldwirtschaft besitzen“ vor. Die „Faustmannformel“ zur Ermittlung des Bodenertragswertes findet seither weltweit Verwendung zur Bestimmung der finanziell vorteilhaften Baumart, Bestandserziehung und Umtriebszeit, sowie in der Waldbewertung (MÖHRING, 2001).

Ein weiterer bedeutender Vertreter der Bodenreinertragslehre war MAX ROBERT PRESSLER, bekannt durch sein 1858 erschienenenes Buch „Der rationelle Waldwirth und sein Waldbau des höchsten Ertrags“ (WINDISCH, 2007) und das von ihm entwickelte PRESSLER'sche Weiserprozent (MÖHRING, 2001; HASEL und SCHWARTZ, 2002). Unter dem Münchner Forstökonomieprofessor MAX ENDRES, der als letzter großer theoretischer Vertreter der Bodenreinertragslehre im deutschsprachigen Raum gilt, wurde diese in Bayern populär, aber sehr unterschiedlich wirksam (RUBNER, 1994; MÖHRING, 2001). Die Bodenreinertragslehre berücksichtigt besonders den nötigen Kapitaleinsatz sowie die Verzinsung des eingesetzten Kapitals (KRAMER, 1991) und optimiert so die Waldbewirtschaftung nach finanziellen Kriterien (RITTERSHOFER und SCHÖLCH, 2007).

Heute wird mit der Bodenreinertragslehre vielfach das Entstehen von Reinbeständen aus Kiefer und Fichte als „Holzäcker“, kombiniert mit Kahlschlägen verbunden (z.B. HASEL und SCHWARTZ, 2002; WINDISCH, 2007). Dies ergibt sich aus forstökonomischen Studien, die stets eine große Überlegenheit von Nadelholzbeständen gegenüber Laubholzbeständen zeigen (z.B. RIPKEN und SPELLMANN, 1980; BRANDL, 1989; MÖHRING, 2004; SPELLMANN, 2005). Allerdings vernachlässigen diese Studien oftmals biotische und abiotische Kalamitätsrisiken ebenso wie Holzpreisfluktuationen (KNOKE et al., 2008). Genauso wenig werden risikosen-

kende Effekte aufgrund der Produktion verschiedener Holzarten und Risikopräferenzen der Eigentümer berücksichtigt.

In Deutschland konnte sich die Bodenreinertragslehre selbst in ihrer Blütezeit nicht überall durchsetzen. So lehnten sie die Staatsforstverwaltungen besonders in Bayern und Preußen ab, lediglich in Sachsen wurde sie in die Praxis umgesetzt (HASEL und SCHWARTZ, 2002). In Bayern mündete die Bodenreinertragslehre im Jahre 1908 in den „Antrag Törring“, der vom Münchner Forstökonomieprofessor MAX ENDRES unterstützt wurde (RUBNER, 1994) und kürzere Umtriebszeiten, einen Abbau überalterter Althölzer und damit einen höheren Einschlag forderte (SEITSCHKEK, 1983; WINDISCH, 2007).

Nach langem und heftigem Streit zwischen Anhängern der Boden- und der Waldreinertragslehre (HASEL und SCHWARTZ, 2002), setzte sich in Deutschland weitgehend letztere durch (KRAMER, 1991). Dies führte zu einer entsprechenden Verlängerung der Umtriebszeiten und dem Ziel, Starkholz zu erziehen (SEITSCHKEK, 1983; 1986). Gleichzeitig ist die Bodenreinertragslehre bis heute ein „Schimpfwort“ in der deutschen Forstwirtschaft und gilt als „waldfeindliche Entwicklung“ (RITTERSHOFER und SCHÖLCH, 2007).

Die Waldreinertragslehre unterstellt allerdings einen Zinssatz von 0 %, womit sie implizit die Knappheit von Finanzressourcen ignoriert (MÖHRING, 2001). So findet sich heute die Situation, dass in der Forstpraxis forstökonomische Schlussfolgerungen eher als irrelevant betrachtet werden und sie vielmehr von waldbaulichen und ökologischen Modellen geleitet wird (MÖHRING, 2001). Als Beispiel hierfür nennt SPELLMANN (2005) die Einführung der naturnahen Forstwirtschaft Anfang der 1990er Jahre. Diese basierte nicht auf ökonomischen Analysen oder Holzmarktprognosen, sondern auf ökologischen und umweltpolitischen Überlegungen (SPELLMANN, 2005). So verwundert es nicht, dass es in den letzten ca. 80 Jahren in erheblichen Teilen der deutschen Forstwirtschaft zu einer konsequenten Abkehr vom wirtschaftlichen Effizienzgedanken kam (DEEGEN, 2007).

Abgesehen von Deutschland als Ursprungsland und dem mitteleuropäischen Bereich, ist weltweit oft der höchste Bodenreinertrag das Ziel der Forstwirtschaft (KRAMER, 1991). Nur in Mitteleuropa strebt die Forstwirtschaft gemischte Wälder mit langen Produktionszeiträumen an, während sie im Rest der Welt Reinbestände mit kurzen Umtriebszeiten und hoher Verzinsung als Ziel hat (SEITSCHKEK, 1991b). Somit ist auch MARTIN FAUSTMANN aufgrund der nach ihm benannten Formel, einem Kernelement der Bodenreinertragslehre, einer der weltweit bekanntesten deutschen Forstwissenschaftler. Das Erscheinen seines Beitrags aus dem Jahre 1849 wird noch heute regelmäßig durch so genannte „Faustmann-Symposien“ gefeiert (CHANG, 2001).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es in der Vergangenheit zwei unterschiedliche Lager in der deutschen Forstwirtschaft gab und immer noch gibt. Auf der einen Seite stehen ökologisch orientierte Forstleute, für die finanzielle Aspekte nicht an erster Stelle stehen. Diese fordern ganz im Sinne GAYERS vielgestaltige, laubholzreiche Mischwälder mit Baumarten der natürlichen Waldgesellschaften und Starkholzproduktion. Die andere Seite bilden Forstleute, für die finanzielle Effizienz einen großen Stellenwert einnimmt. Diese kommen häufig zu dem Schluss, dass die Waldbewirtschaftung mit schnellwachsenden Nadelholzarten in Reinbeständen vorteilhaft ist.

3.2 Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft

Die bisherigen Studien zur Anwendung der Portfoliotheorie (vgl. Kapitel 4.4.1) lassen sich weitgehend in drei große Gruppen einordnen, was beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt ist. Auf der Ebene des Gesamtvermögens eines Investors wurde zunächst untersucht, welche Rolle ein Forstbetrieb in einem größeren Portfolio spielen sollte (vgl. Kapitel 3.2.1). Auf der Ebene des Forstbetriebes beschäftigen sich zahlreiche Studien mit der Diversifikation der angebauten Baumarten (vgl. Kapitel 3.2.2). Für jede Baumart kann zudem die vorteilhafte Mischung an produzierten Holzsortimenten analysiert werden (vgl. Kapitel 3.2.3). Die in der vorliegenden Studie durchgeführten Kalkulationen beleuchten sowohl Mischungen aus verschiedenen Baumarten als auch die Sortimentsdiversifikation, nicht aber den Aspekt der Beteiligung von Wald an einem größeren Vermögen oder weitere Diversifikationsmöglichkeiten auf Forstbetriebsebene.

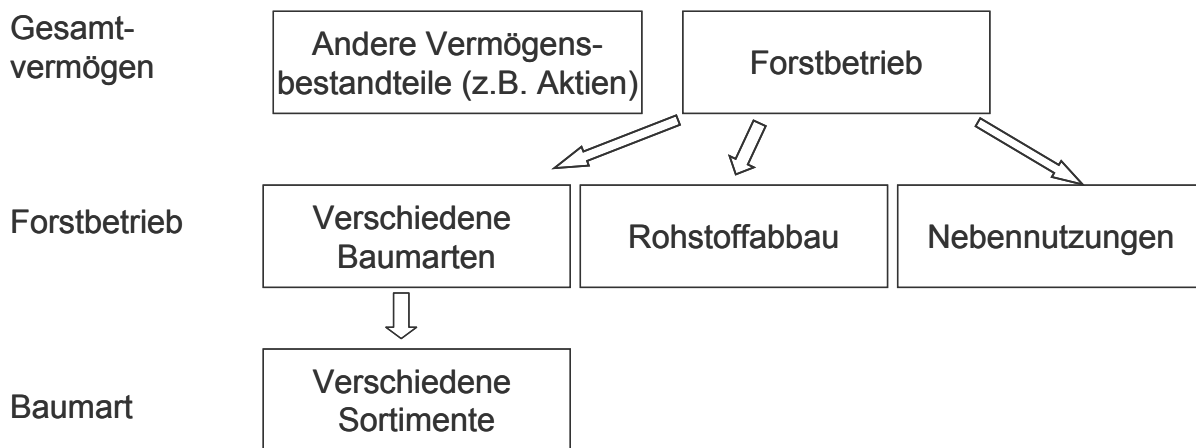


Abbildung 1 Diversifikationsmöglichkeiten auf verschiedenen Ebenen in und um die Forstwirtschaft

Die frühesten forstwissenschaftlichen Arbeiten, die sich mit der Portfoliotheorie befassen, entstanden in den USA und bearbeiten überwiegend die Frage, ob Wälder als Teil größerer Finanzportfolios geeignet sind. In den USA erkannten institutionelle Investoren die positiven finanziellen Eigenschaften von Wald schon früh, so dass Wald beispielsweise als Bestandteil von Pensionsfonds eine bedeutende Rolle spielt (BINKLEY et al., 1996). Parallel zur Zunahme des Waldbesitzes institutioneller Investoren, trennten sich viele Unternehmen der Papier- und Holzbranche von ihren Waldflächen (HEALEY et al., 2005). Die amerikanischen Studien zu Portfolios mit Wald als einem Bestandteil, die vor allem in den 1980er und 1990er Jahren veröffentlicht wurden, sind in der jüngeren Vergangenheit in erster Linie von skandinavischen Forstwissenschaftlern wieder aufgegriffen worden.

In der deutschen Forstwissenschaft waren DEEGEN et al. (1997) und DUFFNER (1999) die ersten, die Überlegungen zur Übertragung der Portfoliotheorie durchführten. Die erste quantitative Studie zu diesem Thema stammt von WIPPERMANN und MÖHRING (2001), gefolgt von einer ausführlicheren Betrachtung durch WEBER (2002), der als erster neben der Portfoliobil- dung aus Wäldern und anderen Finanzanlagen auch die Baumartenmischung betrachtete. Die Baumartendiversifikation wurde in der deutschen Forstwissenschaft bisher am ausführlichsten bearbeitet.

3.2.1 Wald als Teil eines größeren Portfolios

Zahlreiche Studien im US-amerikanischen und skandinavischen Raum und wenige in Deutschland, befassten sich mit Investitionen in Wald oder Unternehmen der Forst- und Holzwirtschaft als Bestandteil eines größeren Portfolios. Die Untersuchungen lassen sich daher gut nach Regionen gliedern. Daneben steht der Aspekt des Inflationsschutzes durch Waldbesitz, der im Folgenden gesondert dargestellt wird.

3.2.1.1 Amerikanische Studien

Die erste Optimierung von Portfolios aus Waldbeständen und Geldanlagen führten MILLS und HOOVER (1982) durch. Vor dem Hintergrund, dass die Forstwirtschaft wegen geringer Dividenden als wenig rentabel gilt, wollten MILLS und HOOVER (1982) über die Portfolioanalyse eine Erklärung finden, weshalb dennoch so viele Menschen Wald besitzen und in ihn investieren. Die Studie umfasste 18 verschiedene Anlagemöglichkeiten: 4 Finanzanlagen (Aktien, Unternehmens- und langfristige Staatsanleihen, US-Schatzbriefe), 4 landwirtschaftliche Geldanlagen (Produktion von Feldfrüchten, Schweinen, Feldfrüchten und Schweinen, Milch) und 10 Nadelwälder im US-Staat Indiana. In die forstliche Rendite gingen die Parameter Holzpreis, Zuwachs unter Berücksichtigung von Schäden und Bodenwert ein. Als Maß für das Risiko verwendeten MILLS und HOOVER (1982) die Semivarianz, so dass nur die negativen Abweichungen vom Mittelwert berücksichtigt wurden.

In der Studie von MILLS und HOOVER (1982) wird zwischen Landwirten und sonstigen Investoren unterschieden. Letztere verfügen im Modell über ein sicheres Einkommen und keine Bewirtschaftungskennnisse, während Landwirte zu 90 % in land- und forstwirtschaftliche Anlagen investieren. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass Wald bei den sonstigen Investoren dann ein Teil des Portfolios ist, wenn eine höhere Risikoneigung vorliegt. Obwohl eine Investition in Waldflächen demnach als riskant gilt, kann damit das Gesamtrisiko eines Portfolios gesenkt werden. Die Landwirte, die sowohl Feldfrüchte anbauten, als auch Schweine züchteten und die Landwirte, die Milch produzierten, hielten über alle Risikoeinstellungen hinweg Wald in ihrem Portfolio. Dagegen hätten laut MILLS und HOOVER (1982) die Landwirte, die nur Schweine oder Feldfrüchte produzierten, ein geringeres Interesse daran Wald in ihr Portfolio zu integrieren und würden dies nur bei geringer Risikoaversion tun. Die Autoren hielten zudem fest, dass Waldinvestitionen hohe Renditen bei akzeptablem Risiko erzielen. Ein wesentlicher Grund hierfür lag in der Berücksichtigung des Bodenwertes, dessen Anstieg ein Drittel zur Rendite beitrug. Ein weiteres Drittel rührte vom Baumwachstum her und das letzte Drittel vom Preisanstieg (MILLS und HOOVER, 1982).

Die Entwicklung von Waldinvestitionen im Vergleich zum Finanzmarkt wurde in vielen Betrachtungen mit Hilfe des „Capital Asset Pricing Models“ (CAPM) nach SHARPE (1964) durchleuchtet und der β -Wert der Walderträge untersucht. Der von SHARPE (1964) entwickelte β -Index ist ein Maß für die Korrelation zwischen den Erträgen einer Anlage und denen des Marktportfolios und damit ein Maß für das systematische Risiko. Ist β gleich 1 bedeutet dies, dass bei einer Veränderung des Marktindex um 1 % sich auch der Index der betrachteten Investition um 1 % in dieselbe Richtung entwickelt. Bei einem β von größer (kleiner) 1 verändern sich die Erträge stärker (schwächer) als die Erträge des Marktportfolios. Bei einem β

gleich 0 sind die Erträge einer Investition unabhängig von Marktschwankungen, für ein β kleiner 0 gegenläufig zum Marktportfolio (REDMOND und CUBBAGE, 1988). Das „systematische Risiko“ einer Anlage, das von einem zum Marktportfolio gleichgerichteten Verhalten herrührt, kann im Gegensatz zum „unsystematischen Risiko“ nicht einfach durch Kombination von mehreren Anlagen ausgeschaltet werden. Daneben wurde auch manchmal der Jensen-Index oder α -Koeffizient herangezogen. Dieser Index gilt als Maß dafür, ob die Rendite einer Anlage höher (α positiv) oder geringer (α negativ) ist, als die Rendite, welche für eine Geldanlage dieses Risikos (gemessen am β) vom Markt verlangt wird (REDMOND und CUBBAGE, 1988).

Die Erträge des Marktportfolios wurden meist näherungsweise über die Entwicklung eines Index erfasst, der einen bestimmten Teil des Kapitalmarktes abdeckt. REDMOND und CUBBAGE (1988) verwendeten hierfür, wie einige andere Autoren auch (z.B. ZINKHAN, 1988), den Standard and Poor's 500-Index. Sie analysierten in ihrer Studie Investitionen in Wald, leiteten aber keine vorteilhaften Portfolioanteile her. Die betrachteten Waldbestände umfassten 5 verschiedene Regionen der USA, unterschiedliche Baumarten (Kiefer, Douglasie, Hemlocktanne, Fichte, Tanne, Eiche, Ahorn, Esche, Pappel) und Sortimente (Papier-, Sägeholz). Die Renditen der Waldinvestments wurden aus den jährlichen Holzpreisänderungen und dem jährlichen Volumenzuwachs errechnet. Für den Zeitraum 1951 bis 1985 wurden die insgesamt 22 verschiedenen Waldinvestments auf ihre mittlere, jährliche Wertentwicklung und deren Standardabweichung hin untersucht und im Vergleich zum Marktindex die Parameter β und α ermittelt.

REDMOND und CUBBAGE (1988) kamen zu dem Ergebnis, dass die forstlichen Anlagen überwiegend von positivem α und negativem β gekennzeichnet sind. Waldinvestments sind somit aufgrund der negativen β -Werte geeignet, das Risiko eines Portfolios zu reduzieren, trotz eventuell hoher Schwankungen des Holzpreises. Darüber hinaus erscheint eine Integration von Wald in ein Investmentportfolio durch die hohen α -Werte noch vorteilhafter, weil die Rendite in diesem Fall über derjenigen liegt, die als Kompensation für das durch Waldinvestition in Kauf genommene Risiko anzusetzen wäre.

Auch CONROY und MILES (1989) zeigten in ihrer Studie die Vorteilhaftigkeit der Investition in Wald als Teil eines Portfolios. Sie ermittelten die Renditen nicht nur mit Hilfe von Holzpreis- und Bodenwertentwicklungen sowie dem Zuwachs, sondern berücksichtigten auch die Zahlungsströme aus der Bewirtschaftung der Waldflächen. Sie betrachteten hierbei Kiefern-Normalwälder unter der Annahme verschiedener Umtriebszeiten von 10-42 Jahren. Die Preise der drei betrachteten Produkte „Industrieholz“, „schwaches Sägeholz“ und „Sägeholz“ ab dem Jahr 1976 stammten aus drei Gebieten im Südosten der USA. Die Bewirtschaftungskosten bestanden aus flächenbezogenen Kosten (Steuern und Verwaltungskosten) und aus bewirtschaftungsabhängigen Kosten (Pflanz- und Pflegekosten). Bei den Modellen mit einer Umtriebszeit über 21 Jahren wurde eine Durchforstung mit positiven Deckungsbeiträgen unterstellt.

Die Standardabweichung der Renditen war im Modell von CONROY und MILES (1989) auf die Preisschwankungen und die Änderung des Bodenwertes zurückzuführen. Die geringste Standardabweichung wurde bei einer Umtriebszeit von 25 Jahren erreicht. Die Renditen dieser optimalen Erntestrategie wurden auf den gesamten Finanzmarkt bezogen. Die Investition in

diesen Modellwald stellt nach den Autoren das so genannte „biologische Beta“ in einem Portfolio aus Aktien, langfristigen Staatsanleihen und Schatzbriefen dar. Das „biologische Beta“ rührt daher, dass ein natürliches Wachstum an Volumen und Qualität stattfindet, das unabhängig von bestimmten Marktsituationen ist. Die Autoren kalkulierten unter verschiedenen Annahmen Portfolioanteile aller betrachteten Geldanlagen und zeigten, dass Wald immer einen nennenswerten Anteil an einem Portfolio einnehmen sollte.

WAGNER und RIDEOUT (1991) betrachteten mit Hilfe des CAPM, wie sich Durchforstungen auf das systematische Risiko von Waldinvestitionen auswirken. Zudem untersuchten sie Inflationseinflüsse auf die Renditen des Waldes. Grundlage hierfür bildeten zwei normal aufgebaute *Pinus ponderosa*-Plantagen. Eine der Plantagen wurde einmalig im Alter 40 durchforstet, wobei kein kommerziell nutzbares Holz entnommen wurde. Die Umtriebszeit dieses Bestandes betrug 75 Jahre, während die andere Plantage undurchforstet blieb und eine Umtriebszeit von 60 Jahren hatte. Die vierteljährlichen Renditen wurden mit den Holzpreisen der Jahre 1963 bis 1988 quantifiziert. Zudem wurden im Rahmen der Kalkulationen Pflanzkosten und der Bodenwert berücksichtigt. Die Bewertung der Bewirtschaftungsstrategien erfolgte durch die Kombination des CAPM mit dem Income Growth Model (IGM). Mit Hilfe des IGI (Income Growth Index) kann auf den β -Wert einer nicht öffentlich gehandelten Firma geschlossen werden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass, gemessen am β -Index, eine Durchforstung zu keiner Änderung des systematischen Risikos führt. Zudem war nur ein geringer Prozentsatz der absoluten Schwankungen unter realen und nominalen Bedingungen systematisch, d.h. der überwiegende Teil der Schwankungen von forstlichen Renditen kann durch Diversifikation eliminiert werden.

Neben der Berechnung des systematischen Risikos bestimmter Waldinvestitionen zeigte ZINKHAN (1988) die Möglichkeit auf, mit dem CAPM den Diskontierungszinssatz forstlicher Projekte zu ermitteln, da sich dieser aus einer risikofreien Rendite und dem Risikozuschlag, der vom β der betrachteten Investition abhängt, zusammensetzt. Er verwendete hierfür den Waldindex STIF (Southern Timberland Index Fund), US-Schatzbriefe als risikofreie Anlage und den Standard and Poor's 500 Index zur Darstellung des Marktportfolios. Den berechneten Zinssatz von 4 % schätzte ZINKHAN (1988) als äußerst niedrig ein und führte an, dass dieser geringe Wert durch das negative β des STIF bedingt ist. ZINKHAN (1988) hielt abschließend fest, dass ein Verfahren nötig ist, um den Diskontierungszins für die langfristigen forstlichen Projekte festzulegen und dass die Verwendung des CAPM hierfür eine Möglichkeit darstellt, die jedoch noch verfeinert werden müsste.

Ein weiterer Aspekt, der in der Untersuchung von Mischungen aus Wald und anderen Finanzanlagen beachtet werden sollte, ist die Ermittlung der Erträge und Renditen der verschiedenen Geldanlagen. WASHBURN und BINKLEY (1990) sowie ZINKHAN et al. (1992) verwiesen auf das Problem, dass sich die Finanzerträge meist auf verschiedene Perioden beziehungsweise Periodenlängen beziehen. Nach WASHBURN und BINKLEY (1990) wurden die Erträge der Wälder immer über die Mittelwerte z.B. der Holzpreise eines Jahres betrachtet. Die Veränderung der Erträge entspricht dann der Differenz zum Mittelwert des folgenden Jahres. Die Entwicklung der anderen Finanzanlagen (Marktportfolio und risikofreie Anlage) wurde jedoch in den meisten Studien auf andere Weise ermittelt. Da diese Daten immer z.B. für das Jahresende

vorliegen, entspricht die Veränderung des Werts der Differenz über ein Jahr und nicht über zwei Kalenderjahre, wie bei der Berechnung der Walderträge.

Die Ergebnisse der Studien unterschieden sich laut WASHBURN und BINKLEY (1990) danach, ob die Veränderung der Alternativenanlage über das erste oder das zweite Kalenderjahr mit der Holzpreisentwicklung verglichen wurde. Wurde das erste Kalenderjahr bei Verwendung des CAPM betrachtet, kam es in den meisten Fällen zu einer Überschätzung des systematischen Risikos, der β -Wert war also positiv. In den meisten auch hier aufgeführten Studien war der β -Wert jedoch negativ, da die Entwicklung des zweiten Kalenderjahres verwendet wurde (WASHBURN und BINKLEY, 1990). WASHBURN und BINKLEY (1990) folgerten daraus, dass auch für die Erträge der alternativen Finanzanlagen periodische Mittelwerte berechnet werden sollten, bevor sie mit den periodischen Mittelwerten der forstlichen Investitionen verglichen werden. Sie führten dies exemplarisch für das Marktportfolio, repräsentiert durch den Standard and Poor's 500 Index, und US Schatzbriefe durch. Das β der betrachteten Waldarten (nach REDMOND und CUBBAGE, 1988) war in einigen Fällen negativ, in anderen dagegen positiv.

Daneben haben auch die Betrachtungszeiträume einen entscheidenden Einfluss. THOMSON (1991) griff diese Tatsache auf und betrachtete Portfolios aus Wald- und Finanzinvestments über Anlagezeiträume von einem Jahr und 50 Jahren, ohne zwischenzeitliche Veränderung der Zusammensetzung. THOMSON (1991) untersuchte 12 Investments, bestehend aus verschiedenen Baumarten und Finanzanlagen (vgl. Kapitel 3.2.2.1). Der Autor stellte fest, dass riskante Portfolios langfristig geringere Renditen erzielen, als weniger riskante Portfolios. Die Ergebnisse der Optimierung bei Variation der Nutzenfunktionen unterschieden sich jedoch kaum (THOMSON, 1991).

Nicht nur bei reinen Portfoliooptimierungen wie bei THOMSON (1991) wurden Einflüsse unterschiedlicher Betrachtungszeiträume gefunden, sondern auch bei der Verwendung des CAPM. WAGNER und RIDEOUT (1992) prüften das CAPM auf die Stabilität seiner Parameter während verschiedener Perioden. Der „cusum of square test“ (CST) und der „log-likelihood ratio“ (LLR) Test sollten helfen zu prüfen, ob der β -Wert des nominalen und realen CAPM in der Periode 1963 bis 1990 stabil war. Die verwendeten Daten stammten aus den vierteljährlichen Änderungen der Holzpreise von *Pinus ponderosa* und aus dem Standard and Poor's 500 Index als Quelle für die Erträge des Marktportfolios.

WAGNER und RIDEOUT (1992) kamen zu dem Ergebnis, dass die Parameter des nominalen und realen CAPM in der betrachteten Periode nicht stabil waren und die Parameterverschiebung in beiden Fällen (real und nominal) im vierten Quartal 1976 stattfand. Ein Vergleich der β -Indizes des nominalen CAPM mit dem des realen zeigte, dass vor 1976 die gleichen Ergebnisse, in Form vollständig möglicher Diversifikation des Risikos, vorliegen. Danach zeigte allerdings das nominale Modell, im Gegensatz zum realen, nur noch die Möglichkeit einer teilweisen Diversifikation des Risikos an. Die Inflation wirkt sich demnach auf das systematische Risiko aus. SUN und ZHANG (2001) verglichen in ihrer Studie das CAPM mit der Arbitrage Preistheorie (APT). Letzteres Modell dient dazu mehrere Risikofaktoren einer Investition zu berücksichtigen, während das CAPM alleine vom Faktor des systematischen Risikos ausgeht. SUN und ZHANG (2001) zeigten, dass das APT-Modell robustere Ergebnisse erzielt als das CAPM.

Eine weitere langfristige Betrachtung führte THOMSON (1997) mit dem Ziel durch, vorteilhafte Anteile in einem Portfolio mit Finanz- und Forstanlagen zu ermitteln. Zudem wurde während des langen Betrachtungshorizontes von 1937-1994 in 10-jährigen Abständen ein Vergleich von erwarteten und tatsächlich eingetretenen Renditen und daraufhin eine Anpassung der Portfolioanteile durchgeführt. Neben vier Finanzanlagen (Aktien, Schatzbriefe, Unternehmens- und Staatsanleihen) waren Investitionen in die Baumarten Douglasie und Kiefer möglich. Die jährlichen Renditen entsprechender Normalwälder wurden über die Wertänderung des Bodens, die inflationsbereinigten Holzpreise, den Vorratzzuwachs und die als konstant angesehenen Bewirtschaftungskosten kalkuliert. Zur Portfoliooptimierung verwendete THOMSON (1997) die „power utility“-Funktion in Abhängigkeit verschiedener Risikoeinstellungen von Investoren.

Aufgrund der vorgenommenen Portfolioanpassungen gab es einige Zeitabschnitte, in denen Waldflächen nicht im Portfolio erscheinen, was laut THOMSON (1997) an den bisweilen stark schwankenden Holzpreisen lag. Jahre mit niedrigen Holzpreisen führten so dazu, dass die Holzinvestments als nicht profitabel galten. Eine erneute Durchführung der Portfolioanpassungen mit einem Zeitintervall von 20 Jahren führte tendenziell zum gleichen Ergebnis. Eine dritte Möglichkeit sah THOMSON (1997) darin, feste Anteile der Waldinvestitionen im Portfolio zu definieren und nur die übrigen Teile periodenweise anzupassen. Hierbei wurden günstigere Ergebnisse erzielt. Der Autor hielt schließlich fest, dass ein Portfolio dann geringere Risiken aufweist, wenn Investitionen in Wälder einen konstanten Anteil bilden und der Rest des Portfolios bestehend aus Finanzanlagen mit geringem Risiko periodisch angepasst wird. Der Anteil des Waldes sinkt dabei mit steigender Risikoaversion des Investors.

3.2.1.2 Skandinavische Studien

Die Studie von THOMSON (1997) ist ein Beispiel dafür, wie mit dem Problem umgegangen werden kann, dass ex-post Daten keine besonders sichere Quelle für langfristige ex-ante Betrachtungen sind. In vielen Untersuchungen wurde unterstellt, dass Bedingungen der Vergangenheit auch in Zukunft konstant sind. Nach HEIKKINEN (2002) sind die so durchgeführten Portfoliooptimierungen sehr empfindlich gegenüber Änderungen der Eingangsgrößen Mittelwert, Standardabweichung und Korrelation. HEIKKINEN (2002) beschäftigte sich daher mit der Frage, welches Modell geeignet ist, erwartete Renditen und Korrelationen zwischen der Forstwirtschaft in Finnland und dem Finanzmarkt zu untersuchen, die dann als Grundlage für lang- bzw. kurzfristige Entscheidungen dienen können.

Die Renditen der Geldanlagen wurden bei HEIKKINEN (2002) aus Preiszeitreihen der Jahre 1988 bis 1999 berechnet. Auch bei den forstlichen Investments wurde nur die Preisentwicklung und nicht das Wachstum betrachtet. Die untersuchten Finanzanlagen umfassten Aktien, fünfjährige Staatsanleihen und Festgeldanlagen (HEIKKINEN, 2002). Das forstliche Vermögen bildeten Bestände aus Kiefer, Fichte und Birke. Zur Analyse wurden die beiden Modelle VAR (vector autoregressive model) und VECM (vector error correction model) verwendet. Während das VAR Modell kurzfristige Korrelationen berücksichtigt, enthält das VECM zusätzlich die langfristige Korrelation zwischen zwei Variablen.

Der Autor zeigte, dass in Abhängigkeit vom verwendeten Modell verschiedene Ergebnisse für die Renditeentwicklungen abgeleitet werden können, was sich auch auf die Zusammenset-

zung der Portfolios auswirkte. Während das VAR-Modell eine weitere Steigerung der Preise des Aktien- und des Holzmarktes vorhersah, zeigte das VECM, dass eben diese beiden Anlageformen unterdurchschnittliche Renditen erwarten lassen. Die auf Basis der verschiedenen Simulationsergebnisse vorgenommenen Portfoliooptimierungen ergaben, dass bei Verwendung der VECM-Daten kein Geld in die Forstwirtschaft und in finnische Aktien investiert, sondern alles in Staatsanleihen und Festgeld angelegt würde. Das VAR-Modell führte dagegen zu einem optimalen Portfolio, an dem neben Wald auch Aktien beteiligt wären. HEIKKINEN (2002) hielt zudem fest, dass die Korrelationen der Renditen der Forstwirtschaft und des Finanzmarktes zwar kurzfristig gering, langfristig aber höher sind.

HEIKKINEN (1999; 2003), GONG und LÖFGREN (2003), HEIKKINEN und KUOSMANEN (2003), KUOSMANEN (2004), LÖNNSTEDT und SVENSSON (2000) sowie HYYTIÄINEN und PENTTINEN (2008) betrachteten die Möglichkeit eines Waldbesitzers erzielte Ernteeinnahmen in Finanzanlagen anzulegen. Der Grund für diese Untersuchungen lag darin, dass nicht immer ein Markt für Waldflächen existiert, diese also nicht beliebig ge- oder verkauft werden können (HEIKKINEN, 1999; HEIKKINEN und KUOSMANEN, 2003; KUOSMANEN, 2004), wie dies in den amerikanischen Studien unterstellt wurde. HEIKKINEN und KUOSMANEN (2003) sowie KUOSMANEN (2004) untersuchten diese Fragestellung mit Hilfe der Stochastischen Dominanz.

So betrachtete HEIKKINEN (1999) die Möglichkeit, Bestände zu ernten und die Einnahmen in Aktien zu investieren oder die Ernte um eine Periode zu verschieben. Die Renditen der Waldflächen berechnete HEIKKINEN (1999) aus den drei Komponenten Holzpreis, Wachstum und Opportunitätskosten durch das Verschieben der Ernte. Dabei unterscheidet er vier gemischte Waldbestände in Ost-Finnland, bestehend aus Kiefer, Fichte und Birke. Für den Untersuchungszeitraum von 1985 bis 1996 wurde gezeigt, dass die Korrelation zwischen den Renditen der Wälder und der Aktien gering sind. HEIKKINEN (1999) stellte zudem fest, dass die Renditen und deren Standardabweichung für die beiden Fälle „Wald nicht handelbar“ und „Wald handelbar“ sehr ähnlich sind. Obgleich Rendite und Risiko der Geldanlagen in den beiden Szenarien nahezu gleich waren, veränderten sich die Anteile der vier Waldbestände untereinander stark, während sich der Anteil der Aktien beim risikominimalen Portfolio von 2 % (Wald nicht handelbar) nur gering auf 3,7 % (Wald handelbar) erhöhte.

Ebenso wie HEIKKINEN (1999) betrachtete OLLIKAINEN (1993) das kurzfristige Holzangebot unter der Bedingung, dass sowohl der Holzpreis, als auch der Zinssatz unsicher sind. Unter dieser „doppelten Unsicherheit“ zeigte OLLIKAINEN (1993), dass neben der Risikoaversion die Korrelation zwischen Holzpreis- und Zinsschwankungen und die Position des Waldbesitzers auf dem Geldmarkt entscheidend sind. Risikoaverse Darlehensnehmer schlugen im Fall negativer Korrelation zwischen Holzpreis- und Zinsentwicklung mehr Holz in der ersten Periode ein. Bei risikoaversen Investoren, die keine Darlehen aufnehmen, und im Fall positiver Korrelation war die Höhe der Risikoaversion des Waldbesitzers entscheidend für das kurzfristige Holzangebot.

GONG und LÖFGREN (2003) führten ebenfalls eine Untersuchung des kurzfristigen Holzangebots unter Preisunsicherheit durch, jedoch nur für den Fall eines risikoaversen Investors, der kein Darlehen aufnimmt. Das Holzangebot resultierte daraus, dass in der ersten Phase eine gewisse Holzmenge entnommen und am Ende der zweiten Phase der Rest des Bestandes gefällt wurde. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, dass aus der Ernte eingenommenes Geld in

ein Portfolio mit einer risikofreien und einer riskanten Geldanlage neu investiert wird. OLLIKAINEN (1993) dagegen ging von der Möglichkeit aus, Geld aus der Holzernte entweder in eine risikofreie oder riskante alternative Geldanlage zu investieren. In der Untersuchung von GONG und LÖFGREN (2003) hing es von der Risikoaversion des Waldbesitzers ab, wie stark geerntet wird und damit, wie viel des im Wald gebundenen Geldes anderweitig angelegt wird. Es wurde jedoch nur eine mathematische Herleitung zur Optimierung der Ernte in der ersten Periode durchgeführt, definitive Anteile wurden nicht ermittelt. Die Autoren stellten fest, dass risikoaverse Waldbesitzer generell dazu tendieren, die Ernte nach hinten zu verschieben, wenn die Erträge der riskanten Geldanlagen unsicher sind. So bleibt der Wald für risikoaverse Investoren, trotz der unsicheren Holzpreise, die bessere Alternative.

HEIKKINEN (2003) betrachtete nicht nur die Holzernte in 2 Perioden, sondern in beliebig vielen. Die Ernteerträge wurden nach jeder Ernteperiode neu auf andere Finanzanlagen neben dem Wald verteilt. Es findet demnach eine fortlaufende periodische Portfolioanpassung statt, abhängig davon, wie sich in der vorherigen Periode die Renditen der einzelnen Anlagen entwickelten. Die Zeitreihen und Finanzanlagen entsprachen denen der Studie von HEIKKINEN (2002), wobei die Renditen der Forstanlagen diesmal auch das natürliche Volumenwachstum enthielten. Die Ergebnisse zeigten, dass das VECM-Modell zu einem höheren Waldanteil im Portfolio führt, als das einfachere VAR-Modell. Wie viel Wald im Portfolio gehalten wird, liegt neben der Risikoaversion des Waldbesitzers vor allem daran, wie stark das Wachstum der Bäume ist. Mit einem Vergleich des multiperiodischen Modells (Portfolioanpassung) mit einem statischen Modell (konstantes Portfolio) zeigte HEIKKINEN (2003) zudem, dass ein höherer Nutzen erzielt werden kann, wenn die Möglichkeit zur ständigen Anpassung der Portfoliozusammensetzung besteht.

Eine weitere skandinavische Studie (LÖNNSTEDT und SVENSSON, 2000) kombinierte schwedische Wälder, bestehend aus Fichte (49 %) und Kiefer (51 %), mit alternativen Investitionsmöglichkeiten. Diese waren die Milch und die Getreide produzierende Landwirtschaft, sowie Geldanlagen in Aktien und Festgeld. Die forstlichen Renditen wurden für 80 ha große Normalwälder ermittelt, wobei auch die Schiefe ihrer Verteilung bestimmt wurde. Hierbei stellten die Autoren fest, dass auf Grund der ausgeprägten Schiefe der Waldrenditenverteilung das Risiko mit der klassischen Portfoliotheorie überschätzt wurde. Diese Feststellung ähnelt den Ergebnissen von KNOKE und WURM (2006) sowie RAMÍREZ et al. (2001) (vgl. Kapitel 3.2.2.2 und 3.2.4). LÖNNSTEDT und SVENSSON (2000) zeigten letztlich, dass die Renditen von Wald nur schwach mit denen der anderen Finanzanlagen korrelieren. Am besten erschien eine Mischung aus Wald und Aktien, da beide hohe Renditen erzielten, jedoch in Mischung über ein geringeres Risiko verfügten als einzeln betrachtet. Definitive Portfolioanteile wurden jedoch nicht ermittelt. Vielmehr wurde erwähnt, dass die Zusammensetzung optimaler Portfolios von der individuellen Risikoeinstellung des Investors abhängt.

HYTTIÄINEN und PENTTINEN (2008) betrachteten die Möglichkeit eines Waldbesitzers, Erträge aus Bestandsernten in Festgeld, Staatsanleihen, Aktien und Mietwohnungen zu investieren. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden verschiedene Portfoliozusammensetzungen gebildet. So wurden Portfolios mit und ohne Mietwohnungen optimiert, verschieden lange Zeitreihen zur Kalkulation der Erträge herangezogen (1987-2005 und 1997-2005) und unterschiedliche Zinssätze verwendet. Zudem wurden die Möglichkeiten betrachtet, dass der In-

vestor über ein hohes oder geringes außerforstliches Anfangsvermögen verfügt und wie in den meisten amerikanischen Studien, Wald vom Investor problemlos verkauft werden kann. In letzterem Fall müsste, um einen Ertrag zu erzielen, nicht gewartet werden, bis die Bestände hiebsreif sind.

Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass ein hoher risikofreier Zins zu einem verstärkten Einschlag und einem größeren Anteil riskanter Geldanlagen führt. Diese Ernteerträge wurden in Mietwohnungen oder Aktien investiert. Je höher das nichtforstliche Anfangsvermögen war, desto weniger Bestände wurden gefällt und desto älter wurden die Bestände. Unter der Annahme, dass es möglich ist Waldflächen zu verkaufen, verspricht der Wald laut HYYTIÄINEN und PENTTINEN (2008) einem Investor höhere Erträge. In diesem Fall könnten hiebsreife Bestände zu hohen Preisen verkauft werden, während die jüngeren Bestände Bestandteil des Portfolios bleiben. Der Anteil junger Bestände lag hier höher als bei Betrachtungen, die keinen Waldverkauf vorsahen.

An Hand der Studien von HEIKKINEN (1999), GONG und LÖFGREN (2003), HEIKKINEN (2003), HEIKKINEN und KUOSMANEN (2003), KUOSMANEN (2004) sowie HYYTIÄINEN und PENTTINEN (2008) kann davon ausgegangen werden, dass auch unter der Annahme, es existiere kein Markt für den Handel mit Waldflächen, Wald an einem größeren Portfolio auch langfristig Anteil haben kann.

3.2.1.3 Deutsche Studien

In der deutschen Forstwissenschaft führten DUFFNER (1999) sowie WIPPERMANN und MÖHRING (2001) erste Betrachtungen zur Beteiligung von Waldvermögen an größeren Portfolios durch. DUFFNER (1999) stellte allgemeine Überlegungen an, ob ein Forstbetrieb Teil eines größeren Unternehmens sein sollte. Als Beispiel nannte er standesherrschaftliche Unternehmen, die neben einem Forstbetrieb auch über andere Standbeine verfügen. Eine solche Diversifikation durch den Aufbau anderer Unternehmensteile neben einem Forstbetrieb ist jedoch laut DUFFNER (1999) sehr oft fehlgeschlagen. Gründe hierfür wären Risikounterschätzung, Innovationsdruck oder aber fehlende Koordination innerhalb der Unternehmensteile.

Bezugnehmend auf die oft anzutreffende Meinung, dass Forstbetriebe geringe Kapitalrenditen abwerfen, betrachtete DUFFNER (1999) die Situation in den USA, wo Wald häufiger in Portfolios aufgenommen wird und auch höhere Renditen erzielt. Dies läge daran, dass Wälder in den USA niedriger als in Mitteleuropa bewertet werden. Zudem seien oftmals Wälder an den Portfolios beteiligt, die aus schnellwüchsigen *Pinus taeda*-Plantagen bestünden (DUFFNER, 1999). Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Rendite mitteleuropäischer Wälder wurde anhand der Z-Baumorientierten Fichtenwirtschaft aufgezeigt, in der waldbaulich nicht zwingend erforderliche Bäume entnommen werden können. Da die Kapitalrendite der Quotient aus Reinertrag und Kapitaleinsatz ist, würde die Reduktion des gebundenen Kapitals ohne Reinertragsschmälerung zu einer höheren Rendite führen (DUFFNER, 1999). Zusammenfassend hielt DUFFNER (1999) fest, dass Ziele eines Forstbetriebs innerhalb eines Gesamtunternehmens klar definiert sein müssen (z.B. Liquiditätsreserve durch hohe Vorratshaltung). Waldvermögen innerhalb eines Portfolios bedeutet also eine Risikovorsorge und eine Sicherung zukünftiger Erträge.

WIPPERMANN und MÖHRING (2001) betrachteten Forstbetriebe als Ergänzung zu Aktienportfolios auf quantitativer Basis. Die Renditeberechnung der Forstbetriebe umfasste die Dividendenrendite, die bei forstlichen Anlagen den jährlichen Überschüssen entspricht, und die Kurswertrendite, also die zeitlich veränderlichen Forstgrundstückspreise. Letztere setzten sich aus dem Bodenwert und dem Wert des Holzvorrates zusammen. WIPPERMANN und MÖHRING (2001) berechneten eine Renditenzeitreihe eines forstlichen Investments für den Zeitraum 1969 bis 1994 an Hand von Daten eines Betriebsvergleichs in Nordrhein-Westfalen. Nach einem Vergleich mit den Renditen des Aktienindex im selben Zeitraum, bildeten WIPPERMANN und MÖHRING (2001) ein Portfolio aus diesen schwach negativ korrelierten Anlagealternativen. Das Risikominimum lag bei einem Portfolio aus 90 % Wald und 10 % Aktien. Die Autoren hielten fest, dass ein Forstbetrieb trotz geringer Renditen eine optimale Ergänzung zur Anlage in Aktien darstellt und das Gesamtrisiko verringern kann. Der betrachtete Zeitraum von 26 Jahren war auch lang genug, um sowohl makroökonomische Schwankungen als auch Kalamitäten zu umfassen (WIPPERMANN und MÖHRING, 2001).

WEBER (2002) führte neben der Optimierung verschiedener Baumartenmischungen (vgl. Kapitel 3.2.2.1) auch eine Portfoliobetrachtung durch, bei der Investitionen in verschiedene Baumarten und Waldflächen in den USA mit unterschiedlichen Geldanlagen gemischt wurden. Für einen Anlagehorizont von 10 Jahren bestand das risikominimale Portfolio aus 54 % Waldinvestments, 19 % US-Staatsanleihen, 12 % Investitionen in die Baubranche und 8 % Investition in die Papier- und Holzindustrie. Geringe Anteile des Portfolios wurden in die Branchen „Erholung und Tourismus“, „Goldminen“ und „Weltaktienmarkt“ investiert. Geht man davon aus, dass ein risikominimierender Investor bereits Geld in deutsche Mischwälder (Anteile am Portfolio: 20 % Fichte, 10 % Buche, 5 % Kiefer, 5 % Eiche) investiert hat, würde er nach WEBER (2002) noch in US-Staatsanleihen (25 %), den Aktienmarkt (21 %) und in Waldflächen der USA investieren.

3.2.1.4 Waldbesitz und Inflation

Die Absicherung eines Portfolios gegen Inflation durch Investitionen in Wald ist ein umstrittener Punkt. WAGNER und RIDEOUT (1991) zeigten in der oben beschriebenen Studie, dass die betrachteten Waldinvestments (*Pinus ponderosa*-Plantage durchforstet und undurchforstet) einen geringen Inflationsschutz bieten. LUNDGREN (2005) zeigte in seiner Untersuchung zur Wertentwicklung schwedischer Waldflächen jedoch, dass diese einen ausgezeichneten Inflationsschutz bieten. Die Einschätzung von WAGNER und RIDEOUT (1991) wird aber durch eine Untersuchung von PENTTINEN und LAUSTI (2004) unterstützt. Diese Studie zeigt, dass der Anstieg des Holzpreises in Finnland in der Zeit von 1972-2003 geringer war, als die Inflation. Auch unter zusätzlicher Berücksichtigung des Volumenzuwachses lag die Rendite von Waldbesitz unterhalb der Inflationsrate und erst durch die Ernteerträge ergab sich eine positive reale Rendite. Sie fiel jedoch mit 2,6 % deutlich geringer aus, als in vergleichbaren Studien aus den USA. Zudem sei Waldbesitz im Vergleich zu Immobilien und Aktien kein geeigneter Bestandteil eines Portfolios, da das Gesamtrisiko des Portfolios durch Waldbesitz nicht reduziert würde (PENTTINEN und LAUSTI, 2004).

Eine ausführliche Untersuchung zur Entwicklung privaten Waldbesitzes führte LAUSTI (2004) durch. Er unterschied dabei zwischen erwarteter und unerwarteter Inflation, wobei letztere aus

der Differenz von aktueller und prognostizierter Inflation besteht. Damit griff er eine Idee von ZINKHAN et al. (1992) auf, die eine verstärkte Untersuchung der Inflationsaspekte forstlicher Investitionen forderten, da hierüber sehr unterschiedliche Ergebnisse vorliegen. Privater Waldbesitz war laut LAUSTI (2004) wie auch bei PENTTINEN und LAUSTI (2004) ein geringer Schutz gegen die Inflation der Jahre 1973 bis 2003. Jedoch wurde festgestellt, dass ein Schutz gegen unerwartete Inflation vorhanden ist. Somit wäre Wald ein geeigneter Bestandteil eines Portfolios, das noch andere Vermögensteile besitzt, die zwar gegen erwartete aber nicht gegen unerwartete Inflation absichern. Zudem zeigte der Autor, dass je länger der Wald gehalten wird (5 bzw. 10 Jahre), umso effektiver der Inflationsschutz ist. Bei langer Haltedauer des Waldes liegt auch eine teilweise Absicherung gegen erwartete Inflation vor. Nachdem Wald üblicherweise lange Zeiträume im Besitz bleibt, ist diese Feststellung durchaus positiv.

3.2.2 Diversifikation angebaute Baumarten

Um dem Ruf der Mischwälder, nicht wirtschaftlich zu sein, entgegenzutreten, führten NICHOLS et al. (2006) einige Vorteile gemischter Wälder auf. Neben der höheren Widerstandsfähigkeit gegen Stürme und Insektenbefall, können sie vor allem schlechtere Standorte effizienter ausschöpfen. Der Grund hierfür liegt an der Besiedelung des gesamten Bestandesraumes, sowohl über der Erde durch Licht- und Schattbaumarten, als auch unterirdisch über die Durchwurzelung verschiedener Bodenschichten. Laut PRETZSCH (2003) führt dies je nach Standort und Baumarten zu einer Steigerung der Ressourcenausbeute von bis zu 30 %.

Neben der besseren Standortausnutzung existiert die Möglichkeit, dass bei frühen Durchforschungen in Mischbeständen im Gegensatz zu Reinbeständen bereits kommerziell nutzbare Produkte gewonnen werden können, da eventuell Arten vorhanden sind, die bereits in schwachen Dimensionen hohe Preise erzielen (NICHOLS et al., 2006). Der oftmals vorgebrachten Kritik, eine Mischung führe zu einer verminderten Produktivität der einzelnen Baumarten, treten VALKONEN und VALSTA (2001) durch Berücksichtigung finanzieller Aspekte entgegen. Für eine Mischung aus Fichte und Birke zeigten sie, dass der zusätzliche finanzielle Ertrag aus der Birke den Volumenzuwachsverlust der Fichte überkompensiert und somit eine richtig konzipierte Mischung auch finanziell lohnenswert ist.

Diese Studien befassen sich zwar alle mit der Vorteilhaftigkeit von Mischwäldern, jedoch quantifizieren sie meist nur die Produktivität, während das Risiko lediglich qualitativ beschrieben wird. So sieht z.B. PRETZSCH (2003) in der Kombination mehrerer Baumarten die Möglichkeit zu einer Risikostreuung. Eine hierfür optimale Baumartenmischung beinhaltet nach VON LÜPKE (2004) Baumarten verschiedener ökologischer Nischen.

Vor diesem Hintergrund machte VON LÜPKE (2004) Vorschläge zur Erziehung von risikomindernden Mischbeständen. So sollen Baumarten verschiedener Ökologie und Konkurrenzstärke, abhängig von der Oberhöhe, am besten gruppen- bis horstweise gemischt werden und Ungleichaltrigkeit im Bestand vorliegen. Hiebseingriffe stellen dabei ein wichtiges Instrument zur Steuerung der Lichtverhältnisse dar. Deren Auswirkungen auf das Konkurrenzgefüge wurden anhand beispielhafter Mischungen (Traubeneiche-Buche, Fichte-Buche, Douglasie-Buche) aufgeführt. Dabei wurde herausgehoben, dass die Diversität der angewendeten Hiebsformen ein wichtiges Mittel zur Risikominderung ist. Auch Kahlschlag spiele dabei eine

wichtige Rolle, da so die nötigen Lichtverhältnisse für Baumarten wie Kiefer, Eiche, Lärche und Birke geschaffen werden, die in einem für Klimaänderungen optimierten Wald wünschenswert sind. Die dargestellten Empfehlungen sind jedoch rein qualitativer Art und finanzielle Aspekte wurden nicht berücksichtigt (VON LÜPKE, 2004).

LOHMANDER (1993) führte eine allgemeine, numerische Betrachtung der Mischung mehrerer Arten durch. Er ging von der Annahme aus, dass die Zukunft ungewiss ist. Mit Baumartenmischungen wäre es jedoch möglich, sich mehrere Handlungsalternativen offen zu halten. Nach einiger Zeit (im Modell 50 Jahre) kann sich der Entscheidungsträger auf die Art konzentrieren, die nach dem dann erreichten Kenntnisstand die höchsten Erträge in der Endperiode verspricht. Der Autor betrachtete dabei die drei Investitionsentscheidungen Art A, Art B und Art A+B. Es wurden keine bestimmten Baumarten oder reale Bestände für die Untersuchung herangezogen, sondern es wurde mathematisch gezeigt, dass die Strategie der gemischten Bestände einen höheren Kapitalwert aufweisen kann (LOHMANDER, 1993).

3.2.2.1 Portfolios aus mehreren Baumarten

Ein Beispiel für die Portfoliobetrachtung realer Bestände zeigt THOMSON (1991), der die Mischung von vier Waldbeständen aus dem Süden der USA (Reinbestände aus Kiefer („southern-pine“), Esche, Tupelo-Baum, Eiche) und vier aus dem mittleren Westen (Reinbestände aus Strobe, Rot-Kiefer, Pappel, Rot-Eiche) mit Finanzanlagen untersuchte (vgl. Kapitel 3.2.1.1). Er unterschied die Portfoliobildung für den Zeitraum einer Periode (1 Jahr) und mehrerer Perioden (50 Jahre). In die Berechnung der Renditen der Waldbestände gingen baumartenspezifische Bewirtschaftungskosten, der Bodenwert, der Zuwachs sowie historische Holzpreise von 1960 bis 1980 ein. Diese nominalen Daten wurden inflationsbereinigt. Alle Erträge, also auch die der Finanzanlagen (Aktien, Unternehmens- und Staatsanleihen, US Schatzbriefe) wurden auf monatlicher Basis ermittelt. Zur Analyse geeigneter Kombinationen wurde neben der quadratischen Nutzenfunktion die „Power utility function“ verwendet.

THOMSON (1991) kam zu dem Ergebnis, dass kurzfristig das risikominimale Portfolio aus 95 % Schatzbriefen und einigen Baumarten besteht. Die Maximierung der kurzfristigen Rendite wurde mit einer Investition in Rot-Kiefer erzielt, während die Maximierung der langfristigen Rendite mit 56 % „Southern pine“, 27 % Esche und 16 % Strobe erreicht wurde. Auch die Untersuchungen von REDMOND und CUBBAGE (1988) sowie THOMSON (1997) beschäftigten sich im Rahmen von Portfoliooptimierungen mit verschiedenen Baumarten, jedoch immer in Bezug zu alternativen Finanzanlagen. Dies wurde ausführlicher in Kapitel 3.2.1.1 erläutert.

DEEGEN et al. (1997) erkannten als erste in Deutschland die Möglichkeit der Übertragung der Portfoliotheorie auf das Mischwaldproblem. Allerdings ist der Ertrag eines Mischbestandes nicht die Summe der Erträge der beteiligten Baumarten. Sind mehrere Baumarten in einem Bestand vertreten, können aufgrund der Baumarteninteraktionen Mischungseffekte die Erträge der Baumarten verbessern oder verschlechtern. Die Vielzahl der Effekte einer Baumarteninteraktion ist dabei nur schwer zu quantifizieren, so dass DEEGEN et al. (1997) die Portfoliotheorie bei dieser Fragestellung für nicht anwendbar hielten.

Folglich betrachteten DEEGEN et al. (1997) fixe Mischungen als Investitionsmöglichkeiten, die in Abhängigkeit der jährlichen Bestandesrente, deren Streuung und der Risikoeinstellung des Waldbesitzers ausgewählt wurden. Als Beispiel diente die Wahl von Bestockungstypen des Tharandter Waldes, aus denen eine Rangliste erstellt wurde. Die fest definierten Bestockungstypen umfassten Fichte (FI), Fichte-Buche (FI-BU), Buche-Fichte (BU-FI), Fichte-Kiefer (FI-KI), Kiefer-Fichte (KI-FI), Fichte-Birke (FI-BI), Lärche-Fichte (ELÄ-FI), Buche (BU), Douglasie (DGL) sowie Traubeneiche-Hainbuche (TEI-HBU). Die Basis der finanziellen Bewertung bildete die FAUSTMANN-Formel. Diese Formel wurde unter der Annahme modifiziert, dass sich die Jahresdurchschnittstemperatur verändert, entweder ansteigt oder sich unbekannt entwickelt, also auch fallen kann. Diese Veränderungen wirkten sich auf die jeweils artspezifische Bonität und damit auf die erwarteten Erträge aus. Das Risiko entsprach der hiermit verbundenen Ertragsänderung. Die Entscheidung für oder gegen einen Bestockungstyp wurde für bestimmte Risikoeinstellungen durch eine Präferenzfunktion getroffen.

Ein Vergleich der Ranglisten zeigte, dass sowohl nach dem klassischen FAUSTMANN-Ansatz als auch für die beiden modifizierten Modelle (Temperaturentwicklung unbekannt und steigend), die ersten drei Plätze bei einem risikoneutralen Waldbesitzer durch die Bestandestypen DGL, FI-BI und FI belegt wurden, die die einzigen mit positiven jährlichen Bestandesrenten waren. Das klassische Modell nach FAUSTMANN (ohne Berücksichtigung der Temperaturentwicklung) wäre also für die Schätzung des Erwartungswertes geeignet. Daneben waren die Unterschiede zwischen den Modellen umso geringer, je größer die ökologische Amplitude eines Bestands war (DEEGEN et al., 1997).

Die Analyse mit Hilfe der Präferenzfunktion zeigte, dass nur bei hoher Risikoaversion anstelle des Bestandestyps Fichte, Fichte-Buche gewählt würde. Ein risikofreudiger Waldbesitzer würde anstelle Fichte, TEI-HBU wählen. Der Grund für dieses Ergebnis ist darin zu finden, dass DEEGEN et al. (1997) eben nicht nur von einer Temperaturerhöhung ausgehen, sondern auch ein Absinken der Jahresdurchschnittstemperatur in Betracht ziehen. Gerade bei niedrigeren Temperaturen sinkt der Zuwachs der Eiche stark und führt so zu negativen jährlichen Bestandesrenten (DEEGEN et al., 1997). Generell würde eine genügend hohe Risikofreude alle beliebigen Bestandestypen zulassen. DEEGEN et al. (1997) bieten so eine Möglichkeit an, sich unter Risikoberücksichtigung für oder gegen fest definierte Bestockungstypen zu entscheiden, jedoch ohne Optimierung der Baumartenanteile an kleinflächigen Mischungen.

Mit der Optimierung eines Baumartenportfolios befasste sich im deutschsprachigen Raum erstmals WEBER (2002), der einen Forst-Performance-Index für die deutschen Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer für die Jahre 1950 - 2000 kalkulierte, um Diversifikationsentscheidungen des Waldeigentümers zu optimieren. Dieser Index umfasste die Größen Holzvorratswert und Bodenwert des gesamten Betriebsteils, die Summe erzielter Dividenden, die sich aus dem Produkt von Zuwachs und Holzpreis abzüglich Ernte-, Bestandes- und sonstige Kosten zusammensetzten, sowie die Dividendenverzinsung. Der Holzpreis bezog sich in der Untersuchung auf Stammholz der Güteklasse B, da dies das wesentliche Anbauziel eines Forstbetriebes darstellt (WEBER, 2002).

WEBER (2002) ging davon aus, dass man für Anlagehorizonte von 1, 5, 10 und 20 Jahre normal aufgebaute Betriebsklassen beliebig kaufen und verkaufen kann. Die Indizes verliefen nach ansteigender Rendite in der Reihenfolge Kiefer < Fichte < Buche < Eiche, wobei letztere

neben der größten Rendite das höchste Risiko birgt. Für den Anlagehorizont von 20 Jahren, der nach WEBER (2002) der forstlich relevanteste Zeitraum ist, errechnete er zunächst paarweise Baumartenmischungen (WEBER, 2002; MOOG und WEBER, 2001). Besonders die Mischung von Buche und Fichte wäre nach diesen Ergebnissen naheliegend (WEBER, 2002). Das risikominimale Portfolio unter Einbeziehung aller Baumarten enthielt 5 % Buche und 95 % Kiefer.

Unter der Prämisse „Risikominimierung“ erhielt die Kiefer immer ein hohes Gewicht in den Mischungen. Der Grund, weshalb nicht die Kiefer die mitteleuropäischen Wälder dominiert, ist laut WEBER (2002) der, dass das Ziel der Waldbesitzer nicht die bloße Risikominderung ist, sondern das Erzielen einer gewissen Rendite bei einem möglichst geringen Risiko. Daneben war zu beobachten, dass die gewählte Nutzenfunktion (quadratisch oder exponentiell) eine nachrangige Rolle bei forstlichen Investitionen spielte, da sich die gleichen vorteilhaften Mischungen ergaben. So ist für eine normal risikoaverse Person stets eine Investition in 100 % Eiche vorteilhaft.

Neben Mischungen zwischen deutschen Hauptbaumarten wurden auch Mischungen von deutschen Baumarten mit typischen Wäldern in verschiedenen Teilen der USA betrachtet. Diese Regionen waren „South-East“, dominiert von Kiefernbeständen mit 50 % Industrie- und 50 % Stammholz und „Pacific North-West“, überwiegend mit Douglasie und Hemlocktanne zur Stammholzproduktion. In der dritten Region „North-East“ werden Laub- (Ahorn, Birke, Buche) sowie Nadelhölzer (Sitkafichte und Strobe) geerntet, die zu 50 % Industrie- und zu 50 % Stammholz ergeben. Somit wurden nicht mehr nur Baumarten, sondern gesamte Bestände mit unterschiedlichen Sortimenten berücksichtigt. Neben einer Investition in diese drei Regionen gab es noch die Möglichkeit in ein Portfolio mit den drei Gebieten zu investieren. Die optimalen Mischungen wurden mit Hilfe der Forst-Performance-Indizes für Anlagehorizonte von 10 und 20 Jahren berechnet. Dabei hob WEBER (2002) hervor, dass die Korrelationskoeffizienten von der betrachteten Periodenlänge abhängig sind und die Ergebnisse stark voneinander abweichen. Für beide Betrachtungshorizonte war zu beobachten, dass nur geringe Anteile in deutsche Wälder und hier ausschließlich in die Baumart Kiefer investiert würden. Über eine Investitionsdauer von 20 Jahren wurden ca. 60 % in amerikanische Mischwälder im Nordosten, 30 % in die Kiefernbestände im Südosten und etwa 6-7 % in deutsche Kiefer investiert, um ein risikominimales Portfolio zu erhalten. Die Umsetzung eines solchen Portfolios hielt WEBER aber für wenig wahrscheinlich, da der hohe Verwaltungsaufwand auf Grund der großen Distanzen die Diversifikationseffekte vermutlich wieder aufheben würde.

Das Portfolio aus Fichte und Buche (z.B. KNOKE et al., 2005; vgl. Kapitel 3.2.2.2) erweiterte KNOKE (2008b) um die Douglasie. Dazu verwendete er die Daten von KNOKE und WURM (2006) zu Buche und Fichte und ergänzte diese um Daten zur Douglasie von HEIDINGSFELDER und KNOKE (2004) sowie aktualisierte Kulturkosten. Allerdings wurde das finanzielle Risiko der Douglasie nur gutachterlich eingeschätzt. Die vorteilhaften Portfolios bestimmte KNOKE (2008b) mit Hilfe der Information-Gap Theorie und der Sharpe-Ratio.

Die Sharpe-Ratio ergab, dass das vorteilhafte Portfolio aus 35 % Douglasie, 61 % Buche und 4 % Fichte besteht, wenn letztere gepflanzt werden muss. Verjüngt sich Fichte natürlich erhöhte sich ihr Anteil um 11 %, der Buchenanteil verringerte sich dafür um 7 %, der Douglasienanteil um 4 %. Durch die Optimierung unter Anwendung der Information-Gap Theorie

erhöhte sich der Douglasienanteil um mehr als 20 Prozentpunkte bzw. um 10, falls Fichte natürlich verjüngt werden kann. Somit betrug der optimale Douglasienanteil maximal 57 %. Der Buchenanteil lag jeweils bei etwa 44 %, der Fichtenanteil bei Naturverjüngung bei 15 % und im Falle künstlicher Verjüngung fiel sie ganz aus dem Portfolio heraus (KNOKE, 2008b).

Die dargestellten Studien zur Optimierung von Baumartenportfolios zeigten alle ein deutliches Potential zur Risikoreduktion durch die Diversifikation von Baumarten. HYYTIÄINEN und PENTTINEN (2008) ermittelten hingegen sehr hohe Korrelationen der Erträge untersuchter Waldbestände, aufgebaut aus den Baumarten Fichte, Kiefer und Birke. Der Grund hierfür lag an den hohen positiven Korrelationen der Holzpreise für die betrachteten Baumarten. Die Autoren folgerten somit, dass die Baumartendiversifikation geringe Effekte verspricht. Diese zu den anderen Studien konträre Erkenntnis ist jedoch lediglich auf die Tatsache der hohen Korrelation der Holzpreise gestützt.

3.2.2.2 Portfolios aus Fichte und Buche

KNOKE (2004) merkte im Zusammenhang mit der Studie von WEBER (2002) an, dass dieser davon ausgeht, die Diversifikation der betrachteten Baumarten sei eine Mischung von normal aufgebauten Betriebsteilen, die durch Kauf erworben werden könnten. KNOKE (2004) betrachtete nun aber Diversifikationseffekte, die sich unter Berücksichtigung des gesamten Bestandeslebens, von der Begründung bis zum Abtrieb, ergeben. Hierfür untersuchte er eine Mischung der Baumarten Buche und Fichte. Mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation wurden hierbei die Kapitalwerte der Fichten- und Buchenbestände unter Berücksichtigung von zufälligen Holzpreisfluktuationen und Kalamitätsrisiken ermittelt. Die Standardabweichung dieser Kapitalwerte wurde dann als Maß für das Risiko verwendet.

Trotz der hohen positiven Korrelation der Holzpreise (+0,7) ergab sich bei der risikominimalen Mischung eine Risikoreduktion von 24 % gegenüber reiner Buche bzw. 64 % im Vergleich zu Fichte. Das risikominimale Portfolio bestand aus 40 % Fichte und 60 % Buche. Bei Berücksichtigung eines hohen Ausfallrisikos der Fichte bestand es aus 20 % Fichte und 80 % Buche und reduzierte das Risiko auf weniger als die Hälfte der Fichte. Gleichzeitig lag der Kapitalwert bei 60 % und bei hohem Risiko der Fichte noch bei fast 70 % des Maximums. Für das Szenario mit hoher Ausfallwahrscheinlichkeit der Fichte wurden zudem „wohlstandsmaximierende“ Portfolios gebildet. Bei normaler Risikoaversion war dazu eine Mischung von 70 % Fichte und 30 % Buche nötig, bei starker Risikoaversion 50 % Fichte und 50 % Buche. Letztere Mischung entsprach auch dem Optimum bei der daneben durchgeführten Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit (KNOKE, 2004).

KNOKE (2004) hielt abschließend fest, dass die Diversifikationseffekte sowohl von der Produktion der beiden Baumarten, als auch von der unterschiedlichen zeitlichen Verteilung der Einnahmen aus den zwei Baumarten herrühren. So konnte trotz hoher positiver Korrelation der Holzpreise die Streuung der Kapitalwerte deutlich reduziert werden. In einer ähnlichen Untersuchung zur Quantifizierung optimaler Mischungen von Buche und Fichte berücksichtigten KNOKE et al. (2005) zwei Marktmodelle, bei denen das erste Holzpreise von Fichte und Buche der Jahre 1953 bis 1979 mit einer positiven Korrelation (+ 0,64) umfasste, während das zweite Marktmodell (1980 - 2001) eine negative Korrelation (- 0,57) beinhaltete.

Neben der Betrachtung gleicher Umtriebszeiten für die beiden Baumarten wurde zudem auf ein Szenario mit einer Umtriebszeit der Buche von 120 Jahren und der Fichte von 100 Jahren eingegangen. Die Simulationsergebnisse zeigten, dass die Kapitalwerte der beiden Baumarten unkorreliert sind, da einerseits die Holzernten zu verschiedenen Zeitpunkten stattfinden und andererseits der kalamitätsbedingte Ausfall der Baumarten zu einer Verringerung der Korrelation führt. So konnte ein risikominimales Portfolio gebildet werden, das nur noch 50 % des maximalen Risikos enthält. Dieses Portfolio bestand aus 20 % Fichte und 80 % Buche und erzielte 61 % des maximal möglichen Ertrags. Bei dieser Mischung war im Vergleich zum Szenario mit gleichen Umtriebszeiten eine höhere Risikoreduktion zu beobachten, da dort das risikominimale Portfolio (30 % Fichte und 70 % Buche) noch 56 % des maximalen Risikos enthielt. Zusätzlich wurde auch ein erhöhtes Kalamitätsrisiko untersucht. Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Fichte stieg dabei an, sodass im Alter 100 nicht mehr 75 % sondern nur noch 53 % der begründeten Bestände existierten. Das Risikominimum bestand wiederum aus 20 % Fichte und 80 % Buche, jedoch wurden noch 70 % des maximalen Kapitalwertes erreicht während das Risiko bei unter 50 % lag (KNOKE et al., 2005).

Mit Hilfe des Sicherheitsäquivalents wurde ermittelt, dass für einen normal risikoaversen Anleger im Fall des erhöhten Fichtenrisikos und verschiedener Umtriebszeit der Baumarten eine Mischung aus 70 % Fichte zu 30 % Buche optimal ist. Stark risikoaverse Investoren sollten hingegen höchstens 50 % Fichte wählen. Bei der Annahme gleicher Produktionszeiträume und ohne Berücksichtigung des höheren Fichtenrisikos war für einen normal risikoaversen Waldbesitzer ein Anteil von 90 % Fichte optimal, bei starker Risikoaversion nurmehr ein Anteil von 70 %. Zusammenfassend hielten KNOKE et al. (2005) fest, dass Mischwälder durchaus wirtschaftlich sind, wenn man sie aus Sicht von risikoabgeneigten Anlegern betrachtet.

KNOKE et al. (2008) ermitteln ebenfalls optimale Portfolios aus Fichte und Buche, allerdings auf Grundlage der Reinerträge von normal aufgebauten Betriebsklassen dieser Baumarten, die über Naturverjüngung verjüngt werden (MÖHRING, 2004). Diese jährlichen Reinerträge aus MÖHRING (2004) wurden als ewige jährliche Rente betrachtet und daraus Barwerte für die Fichten- und Buchenbestände sowie deren Standardabweichung abgeleitet. Zudem wurde nach KNOKE et al. (2005) davon ausgegangen, dass die Barwerte unkorreliert sind. Auf dieser Grundlage erwies sich eine Mischung aus 70 % Buche und 30 % Fichte als Risikominimum. Mit Hilfe des Sicherheitsäquivalents wurde für starke Risikoaversion eine optimale Mischung von 52 % Buche und 48 % Fichte ermittelt. Für normale Risikoaversion lag dieses Optimum bei einem Buchenanteil von 35 %. Somit wird der maximale Nutzen für eine risikoaverse Person nicht mit einem Wald aus nur einer Baumart erreicht (KNOKE et al., 2008).

Die bisher genannten Studien berücksichtigten allerdings keine preisabhängigen Holzeinschlagsszenarien. Vor allem die Buche würde dadurch an Attraktivität gewinnen, wie KNOKE (2005) ausführte. Dieser Aspekt wurde von KNOKE und WURM (2006) in einer Untersuchung über die Folgen holzpreisangepasster Erntestrategien auf den Ertrag und die Portfoliooptimierung wieder aufgegriffen. Holzernten erst ab einem bestimmten Holzpreisniveau durchzuführen, führte bei Fichte und Buche zu höheren Kapitalwerten. Besonders letztere profitiert von dieser Strategie, da eine Kapitalwertsteigerung von 20 % erreicht wurde, während sich die Standardabweichung nur um 7 % erhöhte. Der Kapitalwert der Fichte erzielte ein Plus von 9 % bei einer um 5 % höheren Standardabweichung. Für die preisangepasste Erntestrategie

lag der optimale Buchenanteil am Portfolio laut KNOKE und WURM (2006) bei 30 % für geringe Risikoaversion und 60 % für extreme Risikoaversion. Somit erzielte die Buche höhere Anteile, als dies in den bisherigen Studien der Fall war. Dies ist auf die höhere Stabilität der Buche zurückzuführen, die ein marktangepasstes Einschlagsverhalten eher ermöglicht als die geringere Stabilität der Fichte.

Vor dem Hintergrund, dass in der modernen Finanztheorie die Annahme der Normalverteilung von Finanzflüssen zunehmend zu Kritik geführt hat (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005), erweiterten KNOKE und WURM (2006) ihre Untersuchung um einen Vergleich der Ergebnisse, die mit der simulierten Häufigkeitsverteilung und unter Annahme einer Normalverteilung der Kapitalwerte erzielt würden. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die Normalverteilungsannahme insbesondere bei der Buche zu einer Überschätzung des Anteils negativer Kapitalwerte führt. Nach KNOKE und WURM (2006) würde der Anteil der Buche an einem Portfolio, das das Risiko eines reinen Buchenbestandes aufweist, bei Annahme einer Normalverteilung um 15 % unterschätzt.

Auf der Datenbasis von KNOKE und WURM (2006) ermittelte KNOKE (2008a) in einer Methodenstudie mit verschiedenen Möglichkeiten der Portfoliobewertung optimale Portfolios aus Buche und Fichte. Bei dem klassischen Portfolioansatz (unterstellt Normalverteilung der Erträge) war für das Sicherheitsäquivalent bei normaler Risikoaversion ein Buchenanteil von 50 % vorteilhaft, selbst für extreme Risikoaversion überstieg er allerdings nicht einen Anteil von 70 %. Nach der Stochastischen Dominanz zweiter Ordnung und der tatsächlichen Ergebnisverteilung der Monte-Carlo-Simulation sind Portfolios mit mindestens 20 % Fichtenanteil effizient, unterstellt man eine Normalverteilung der Erträge sind alle Wälder mit mindestens 30 % Fichtenanteil effizient (KNOKE, 2008a). Verwendet man die Ergebnisse der Simulation bei einer Analyse mit der Information-Gap Theorie, ist eine hälftige Mischung von Buche und Fichte vorteilhaft. Für eine unterstellte Normalverteilung wurde hiernach eine viel größere Robustheit erzielt, die bei einem Buchenanteil von 70 % ihr Maximum erreichte (KNOKE, 2008a). Somit zeigten die nach den verschiedensten Kennzahlen optimierten Portfolios immer die Vorteilhaftigkeit von Mischungen aus Buche und Fichte.

Die Arbeiten z.B. von KNOKE (2004), KNOKE et al. (2005) oder KNOKE und WURM (2006) gingen von großflächiger Mischung von Reinbeständen aus und betrachteten demnach Diversifikationseffekte auf Betriebsebene. Die Daten von KNOKE und WURM (2006) wurden von KNOKE und SEIFERT (2008) in einer Studie zur Ermittlung optimaler Baumartenanteile bei kleinflächiger Mischung als Referenz verwendet. KNOKE und SEIFERT (2008) modellierten hierfür ökologische Effekte in Form einer erhöhten Resistenz, veränderter Produktivität und verminderter Holzqualität aufgrund der Baumarteninteraktion. Die Grundlagen hierfür wurden aus der Literatur abgeleitet. Auf diese Weise wurde auch der Anfangs aufgeführten Kritik von DEEGEN et al. (1997) Rechnung getragen, die Portfoliotheorie könnte nicht auf die Diversifikation von Baumarten übertragen werden, da zusätzliche Wachstums-, Qualitäts- oder Stabilitätsänderungen durch die Interaktionen auftreten.

Die Betrachtung der Auswirkungen wurde zuerst für die einzelnen Aspekte getrennt durchgeführt. Die erhöhte Resistenz von Mischbeständen gegen Kalamitäten führte zu erhöhten Erträgen bei geringerem Risiko. Bei einer 50 %igen Mischung der beiden Baumarten wurde bereits der gleiche Kapitalwert erzielt wie mit dem Fichtenreinbestand im Referenzmodell

von KNOKE und WURM (2006), bei einem Risiko, das dem des Buchenreinbestandes entspricht. Im Bezug auf den veränderten Volumenzuwachs wurde kein wesentlicher Unterschied in Kapitalwert und Risiko im Vergleich zum Referenzmodell festgestellt. Die durch eine Mischung verursachte Holzqualitätsminderung führte dazu, dass Risikokompensationen fast vollständig aufgehoben wurden. Der Mischbestand wies hier sogar Ertragswerte auf, die unterhalb des Buchenreinbestandes lagen. Eine Kombination der drei Aspekte führte dazu, dass Mischungen ab einem Fichtenanteil von 60 % bereits höhere Kapitalwerte als der Fichtenreinbestand des Referenzmodells erzielten. Die Standardabweichung dieser Mischung lag aufgrund des dominierenden Effektes der erhöhten Resistenz nur geringfügig über der des Buchenreinbestandes.

Neben der oft fehlenden Berücksichtigung preisangepassten Holzeinschlagsverhaltens, auftretender Effekte kleinflächiger Mischungen sowie der Annahme von normal verteilten Erträgen, wird häufig an der Übertragung der Portfoliotheorie auf die Baumartenwahl kritisiert, dass die Entscheidungen von sehr strengen Annahmen über die Risikoeinstellung abhängig sind (KNOKE und HAHN, 2007). Entscheidungen seien jedoch oft situationsabhängig. Eine Möglichkeit diese Tatsache zu berücksichtigen zeigten KNOKE und HAHN (2007) auf. Sie untersuchten großflächige Mischungen von Buche und Fichte, wobei sie von einem Investor mit verschiedenen Möglichkeiten zur Geldanlage ausgingen. Er konnte entweder 3.000 € zum Zins von 2 % risikofrei anlegen, 3.000 € in die Begründung eines Buchenbestandes investieren, 2.000 € in eine Fichtenkultur und 1.000 € in eine risikofreie Anlage zu 2 % anlegen oder aber das Geld in ein Portfolio aus Buche und Fichte investieren. Die Daten für die Kalkulation stammten von KNOKE et al. (2005). Da im untersuchten Beispiel die Möglichkeit einer risikofreien Finanzanlage berücksichtigt wurde, ist nach TOBIN (1958) nicht die individuelle Risikoaversion für die Wahl des optimalen Portfolios entscheidend. Die optimale Mischung liegt vielmehr dort, wo die Kapitalallokationslinie die Effizienzlinie der Portfolios berührt. Hier liegt das so genannte Tangentialportfolio. Im untersuchten Fall lag dieses bei einem Buchenanteil von 60 %. Diese Mischung würde demnach von normal risikoaversen Waldbesitzern gewählt, wenn eine risikofreie Anlage existiert. Mit steigenden Erträgen der risikofreien Anlage erhöhte sich auch der Fichtenanteil.

3.2.3 Diversifikation der produzierten Holzsortimente

Auf das Diversifikationspotenzial der Produktion mehrerer Sortimente wiesen MOSANDL und KNOKE (2002b) hin. Diese bewerteten Fichtenqualitätsholz als geeignetes Ergänzungsprodukt zum Fichtenholz normaler Qualität, da die Preise dieser Sortimente nicht positiv korreliert waren. Die unterschiedliche Preisentwicklung wurde bereits von HILF (1933) festgestellt, der bei einem Holzpreisverfall im Jahr 1931 in Schlesien eine geringere Preissenkung beim Wertholz als bei astigem Holz beobachtete, was „ein Hinweis [darauf sei], daß auch in Notzeiten die gute Ware uns nicht im Stiche lässt“ (HILF, 1933). Zur Diversifikation auf Sortimentsebene sind allerdings nur wenige quantitative Studien zu finden, die zudem konträre Ergebnisse erzielen.

Mit der Diversifizierung durch Produktion von Fichtensäge- und Fichtenwertholz beschäftigten sich BEINHOFER und KNOKE (2007b) auf Basis der Portfoliotheorie. Sie betrachteten die Mischung von geasteten und ungeasteten Fichtenbeständen und ermittelten den optimalen

Flächenanteil zu astender Bestände und die dadurch erreichbare Risikoreduktion. Hierbei wurden mehrere Durchforstungskonzepte unterschieden und schwankende Holzpreise im Rahmen einer Monte-Carlo Simulation berücksichtigt. Das Entscheidungskriterium für die optimale Mischung und demnach auch für den optimal zu astenden Flächenanteil bildete das Sicherheitsäquivalent. Bei der Frage nach dem optimalen Astungsanteil kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass große Flächenanteile geastet werden sollten, sowohl bei normaler als auch bei starker Risikoaversion.

Anhand der Berechnung der risikominimalen Mischungen wurde gezeigt, dass zwar in allen untersuchten Varianten (verschiedene Durchforstungsvarianten, unterschiedliche Kalkulationszinssätze, Anzahl geasteter Fichten pro ha) eine Risikoreduzierung auftritt, diese aber nur sehr gering ausfällt (Maximal: 0,4 % vom Risiko eines ungeasteten Fichtenbestandes) (BEINHOFER und KNOKE, 2007b). Ein Grund hierfür wurde im geringen Wertholzanteil am gesamten produzierten Holzvolumen (4-17 % je nach Durchforstung und Astungsbaumanzahl) gesehen. Daraus folgt, dass ca. 80 % der Überschüsse der geasteten und ungeasteten Bestände identisch sind. Aufgrund dieser Überschneidung waren die Diversifikationseffekte nur gering. Herausgefunden wurde zudem, dass die verschiedenen Durchforstungskonzepte einen größeren Einfluss auf Kapitalwerte und deren Streuung haben als die Astung. BEINHOFER und KNOKE (2007b) folgerten abschließend, dass für eine erfolgreiche Sortimentsdiversifikation innerhalb einer Baumart nur ein Sortiment je Mischungskomponente anfallen sollte, da ein gekoppelter Holzanfall den Diversifikationseffekt schmälert.

Im Unterschied zur vorherigen Studie zu verschiedenen Fichtensortimenten, betrachteten JACOBSEN und HELLES (2006) unterschiedliche Buchensortimente. Die vielfältigere Durchmesser- und Ernte in ungleichaltrigen Buchenbeständen könnte zu höheren Rückflüssen und einer größeren Stabilität der Einnahmen führen. Vor dem Hintergrund dieser Annahme untersuchten die Autoren Erntestrategien in ungleichaltrigen Buchenbeständen in Dänemark. Hierfür berücksichtigten sie Holzpreiszeitreihen von 1957 bis 1998 für die vier Sortimente „Stammholz“, „sonstiges Holz (Zellstoff, Hackschnitzel, etc.)“, „Parkett“ und „Brennholz“. Es wurden sieben Erntestrategien betrachtet, die in verschiedene Durchmesser- und Ernteklassen eingreifen. Für jede dieser Strategien wurden die Verkaufserträge im Turnus von 10 Jahren für insgesamt 200 Jahre kalkuliert.

JACOBSEN und HELLES (2006) konnten zeigen, dass die Erntestrategien mit höherem Anteil an Bäumen großer Dimension höhere mittlere Verkaufserträge bei größeren Schwankungen bringen, als Erntestrategien mit gleichmäßigerer Durchmesser- und Ernteverteilung. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass ein Diversifikationseffekt durch Produktion verschiedener Buchensortimente nur in geringem Umfang auftritt. Als Gründe hierfür wurden eine hohe Korrelation zwischen den Preisen der Sortimente und die Möglichkeit mehrere Sortimente aus der Ernte eines Baumes zu gewinnen genannt. Eine Berücksichtigung der Sortimentsdiversifikation scheint nach den Erkenntnissen von BEINHOFER und KNOKE (2007b) sowie JACOBSEN und HELLES (2006) somit nicht zu starken Diversifikationseffekten zu führen, da Waldflächen zwar beliebig mit einer Baumart aber bei konventionellem mitteleuropäischen Waldbau nicht mit nur einem Sortiment bestockt werden können.

Im Gegensatz zu diesen beiden Studien steht die Untersuchung von REEVES und HAIGHT (2000), die von Plantagen ausgingen, die ausschließlich zur Erzeugung eines Sortiments (Sä-

geholz oder Papierholz) dienen. Gleichzeitig wurden für die Sägeholzproduktion verschiedene Umtriebszeiten unterschieden. Die Autoren betrachteten einerseits die Mischung der Sortimente und andererseits auch die Planung der optimalen Erntezeitpunkte. Datenquelle waren hierbei Preiszeitreihen für Säge- und Papierholz von Loblolly pine (*Pinus taeda*) im US-Staat Georgia der Jahre 1977-1988. Die Daten bildeten die Basis für Vorhersagen über Holzverkaufserlöse sowie Bodenwert und damit die Basis für die Kalkulation der Mittelwerte und Streuungen der Erträge verschiedener Bewirtschaftungsstrategien.

REEVES und HAIGHT (2000) zeigten, dass eine Plantage zur Sägeholzproduktion bei einer Umtriebszeit von 35 Jahren und höchstem Risiko den mittleren Ertrag maximieren würde. Die risikominimale Mischung aus 55 % Säge- und 45 % Papierholzproduktion in Plantagen mit Umtriebszeiten von jeweils 20 Jahren, würde auf Grund geringer Korrelation der Sortimentspreise eine Risikoreduktion von 80 % mit sich bringen. Diese Reduktion bezieht sich jedoch auf die Plantage zur Sägeholzerzeugung mit einer Umtriebszeit von 35 Jahren und damit auf eine Bewirtschaftungsvariante, die nicht Teil dieser risikominimalen Mischung ist. Der Ertrag würde zudem im Vergleich zu dieser Plantage um etwa 50 % abnehmen.

Portfolios bestehend aus konventionell erzogenen (geastet und ungeastet) und nach den Ergebnissen der anderen Studien zur Sortimentsdiversifikation sowie finanziellen Aspekten optimierten Fichten- und Kiefernbeständen (Wert-, Säge- und Industrieholzbestände) analysierte BEINHOFER (2009b). Daneben wurde in dieser Studie der Effekt der Integration des Kalamitätsrisikos evaluiert. Das Kalamitätsrisiko führte dabei zu sinkenden Annuitäten, aber auch zu abnehmenden Korrelationen und damit zu größeren Diversifikationseffekten. Die ermittelten, nach der Standardabweichung risikominimalen Portfolios wurden von Kiefernbeständen dominiert und zeigten Risikoreduktionen von bis zu 92 %, wenngleich die Annuitäten noch stärker reduziert wurden. Die nach dem Sicherheitsäquivalent und dem Value at Risk optimierten Portfolios enthielten dagegen nur Fichtenbestände. Durch Wahl dieser Portfolios konnte das Risiko um bis zu 60 % gesenkt werden, während die Annuitäten wesentlich weniger reduziert wurden (BEINHOFER, 2009b). Die Ergebnisse von BEINHOFER (2009b) zeigten, dass die Produktion von unterschiedlichen Sortimenten von Kiefer und Fichte zu deutlichen Diversifikationseffekten führt, insbesondere wenn sie wie bei den optimierten Beständen überwiegend in verschiedenen Beständen geerntet werden.

3.2.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Forstwissenschaft

LESKINEN et al. (2006) bewerteten verschiedene Zielsetzungen eines Forstbetriebes, die auch die Bedürfnisse anderer Interessensgruppen berücksichtigen. Sie analysierten die Strategien „Natürliches Wachstum ohne Ernte“, „Optimierung des Landschaftsschönheitsindex“, „Normale Bewirtschaftung“, „Optimierung der Wildtiereignung“, „mäßige Verjüngung“ und „Maximierung des Einkommens“ nach dem Einkommen in den ersten 10 Jahren und dem Wert des stehenden Bestandes nach 20 Jahren. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass risikoaverse Waldbesitzer die „mäßige Verjüngung“ wählen würden, während risikoliebende Waldbesitzer die Variante „Maximierung des Einkommens“ bevorzugen. Zusammenfassend wurde von LESKINEN et al. (2006) festgehalten, dass die Darstellung von Mittelwert und Standardabweichung, wie in der Portfoliotheorie, den Vorteil der leichten Interpretationsmöglichkeit aufweist und auch von Laien gut verstanden werden kann.

HOF et al. (1996) beschäftigten sich mit der räumlichen Diversifikation der Holzernte. Hierzu bedienten sie sich eines Waldmodells, bestehend aus 25 Beständen, durch das ein Fluss und zwei Straßen führen. Sie untersuchten nun, wo im Wald geerntet werden sollte, um ein möglichst geringes finanzielles Risiko zu erreichen. Es wurde davon ausgegangen, dass die Einnahmen aus den einzelnen Beständen nicht genau bekannt aber untereinander korreliert sind. Diese Autokorrelation nahm mit der Entfernung der jeweiligen Bestände voneinander ab. Der Fluss und die zwei Straßen dienten als Grenzen für die Autokorrelation. Die Autoren kamen schließlich zu dem Ergebnis, dass eine reine Kostenbetrachtung die Ernte auf eng beieinander liegende Bestände konzentrieren würde, die entweder bei den Straßen oder am Fluss lagen, je nachdem wo abtransportiert wurde. Die durchgeführte Optimierung führte im Gegensatz dazu zu einer weiten Verteilung der zu erntenden Bestände und zu einer Ernte in einer größeren Anzahl an Beständen, um die Streuung der Erträge zu reduzieren.

Im Rahmen der finanziellen Bewertung von Agroforstwirtschaftssystemen hoben GODOY und FEAW (1991) die Bedeutung der Artendiversifikation in solchen Systemen hervor. Sie beschäftigten sich mit dem Trend, dass sich Kleinbauern in gering entwickelten Ländern wie Indonesien fast ausnahmslos auf den Anbau von Rattan spezialisieren. Vor allem für diese Kleinbauern ist es jedoch nach GODOY und FEAW (1991) sehr wichtig, sich nicht auf den Anbau einer Art zu beschränken, sondern über mehrere Einkommensquellen zu verfügen. Allerdings führten sie in erster Linie Kostenbetrachtungen durch und trafen nur qualitative Aussagen zur Diversifikation. Das Potential einer Anwendung der Portfoliotheorie in der Bewertung von Agroforstwirtschaftssystemen zeigte erstmals BLANDON (1985) auf. Er beschränkte sich jedoch auf sehr grundlegende und theoretische Überlegungen, die die Zusammenhänge von Ertrag, Risiko, Korrelation und Wahrscheinlichkeiten umfassten.

RAMÍREZ et al. (2001) führten dagegen Kalkulationen auf Basis der Portfoliotheorie durch. Sie gingen dabei wie KNOKE und WURM (2006) von nicht normal verteilten Erträgen beziehungsweise Produktpreisen aus. Untersucht wurden Preiszeitreihen von Kakao, Laurel und Banane, um geeignete Zusammensetzungen verschiedener Agroforstwirtschaftssysteme herauszufinden, die einer Bauernfamilie in Costa Rica ein bestimmtes monatliches Einkommen garantieren. Die Betrachtung der Wahrscheinlichkeit, dass ein gefordertes Mindesteinkommen nicht erreicht wird, führte dazu, dass die Systeme mit hohem Kakaoanteil (Verhältnis Kakao:Banane = 3:1) vorteilhaft waren. Diese wiesen höhere Erträge, aber auch eine höhere Volatilität auf als die betrachteten Monokulturen, jedoch war die Wahrscheinlichkeit das Mindesteinkommen zu erreichen größer. Der Grund hierfür lag an der linksschiefen Kakaopreisverteilung, in der wenige starke Abweichungen vorlagen und damit die Variabilität sehr hoch erschien. Laurel, die holzproduzierende Komponente, wies zwar geringe Preisschwankungen auf, jedoch war der Ertrag nicht hoch genug, um das gewünschte monatliche Einkommen zu erbringen. Allerdings wurde Laurel nur als Monokultur betrachtet und nicht in eine Mischung integriert.

3.3 Schlussfolgerungen

Die Literaturanalyse zeigte, dass die Portfoliotheorie auf unterschiedlichste Mischungen im und mit Wald angewendet wurde. Die Sortimentsdiversifikation wurde bisher allerdings wenig und fast ausschließlich innerhalb einer Baumart beleuchtet. Somit stellt die in der vorlie-

genden Studie vorgesehene gleichzeitige Betrachtung von Sortiments- und Baumartendiversifikation über drei Sortimente für jede der vier berücksichtigten Baumarten eine Neuerung dar (vgl. Hypothese 1). Die Analyse der Portfolios aus optimierten Beständen (vgl. Hypothese 2), auch im Vergleich zu konventionell behandelten Beständen, kann zudem zur Überprüfung der Schlussfolgerungen von BEINHOFER und KNOKE (2007b) und der Ergebnisse von BEINHOFER (2009b) dienen und helfen die bisher widersprüchlichen Ergebnisse zur Sortimentsdiversifikation zu erklären. So betrachten die beiden europäischen Studien von JACOBSEN und HELLES (2006) und BEINHOFER und KNOKE (2007b) konventionell bewirtschaftete Bestände, während REEVES und HAIGHT (2000) Plantagen zur Produktion eines Sortiments analysierten, die den optimierten Beständen in der vorliegenden Studie (vgl. Kapitel 4.1.2) oder von BEINHOFER (2009b) ähneln.

In verschiedenen Analysen (z.B. LÖNNSTEDT und SVENSSON, 2000; RAMIREZ et al., 2001; KNOKE und WURM, 2006) wurde zudem festgestellt, dass die Annahmen der klassischen Portfoliotheorie das tatsächliche Risiko von forstlichen Investitionen nicht zutreffend abbilden. Aus diesem Grund wird neben dem bisher überwiegend verwendeten klassischen Ansatz von MARKOWITZ auch eine Optimierung der Portfolios über verschiedene Downside-Risikomaße durchgeführt (vgl. Hypothese 3). Zudem wird bei der Holzpreissimulation in der Monte-Carlo-Simulation auf die klassische und verbreitete, jedoch umstrittene Normalverteilungshypothese verzichtet und stattdessen mit der tatsächlichen Verteilung gearbeitet.

In der Forstökonomie existiert darüber hinaus immer das in verschiedenen Studien aufscheinende Problem (z.B. THOMSON, 1997), dass Daten der Vergangenheit verwendet werden, um weit in eine unsichere Zukunft reichende Entscheidungen zu unterstützen. Ein Ansatz zur Lösung dieses Problems ist die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien (z.B. KNOKE et al., 2005), um die Auswirkungen eventuell eintretender Zukunftskonstellationen auf die optimalen Portfolios zu analysieren (vgl. Hypothese 4). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die in dieser Arbeit bearbeiteten Fragestellungen die bisherigen Studien hinsichtlich verschiedenster Aspekte passend ergänzen.

4 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel werden die Datengrundlage sowie das methodische Vorgehen dieser Arbeit dargestellt, gegliedert nach den in Abbildung 2 dargestellten Arbeitsschritten einer forstlichen Portfoliooptimierung.

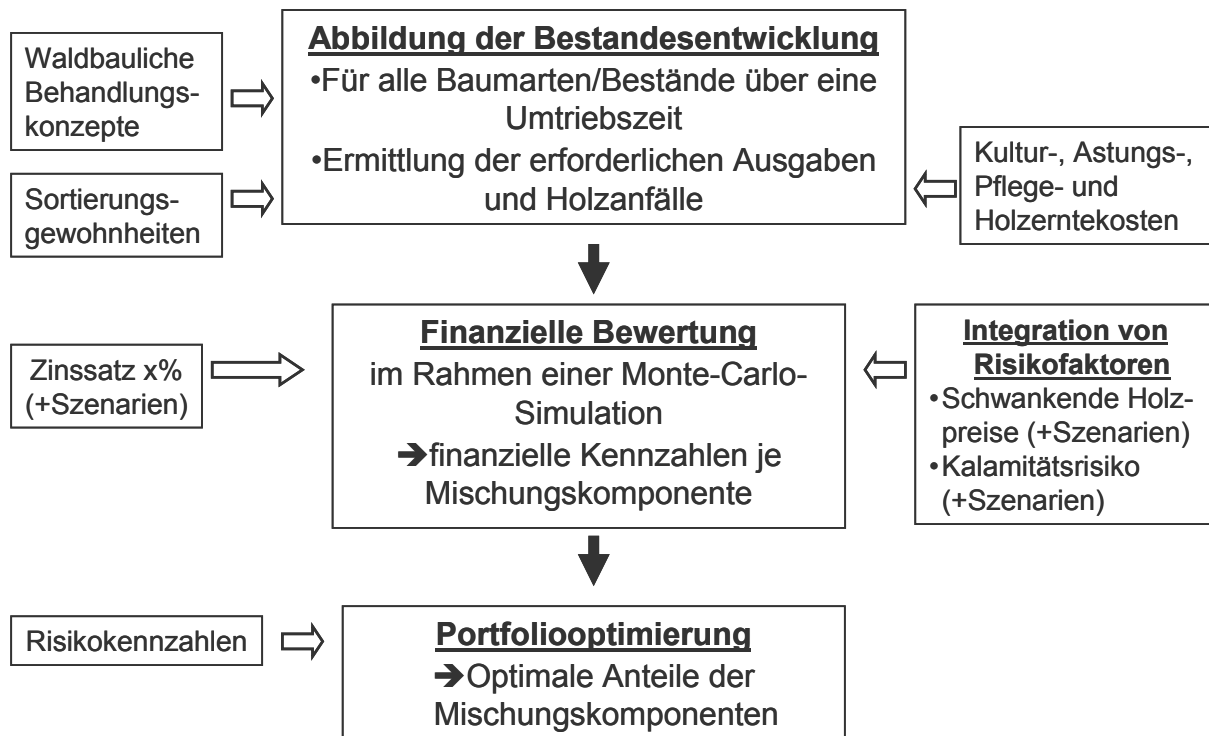


Abbildung 2 Arbeitsschritte der Portfoliooptimierung

Begonnen wird mit der Herleitung der Bestandesentwicklung der konventionell behandelten und der „optimierten“ Bestände sowie den erforderlichen Ausgaben und den zu erntenden Holzsortimenten. Danach werden die durchgeführte finanzielle Bewertung im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation und die integrierten Risikofaktoren dargestellt. Abschließend folgt eine Erläuterung der Portfoliotheorie und der verschiedenen zur Portfoliooptimierung verwendeten Risikokennzahlen.

4.1 Abbildung der Bestandesentwicklung

4.1.1 Konventionell erzogene Bestände

Die im Folgenden unterschiedenen konventionell erzeugten Bestände aus Nadel- und Laubholz, sowie die darin anfallenden Holzsortimente sind in Abbildung 3 dargestellt.

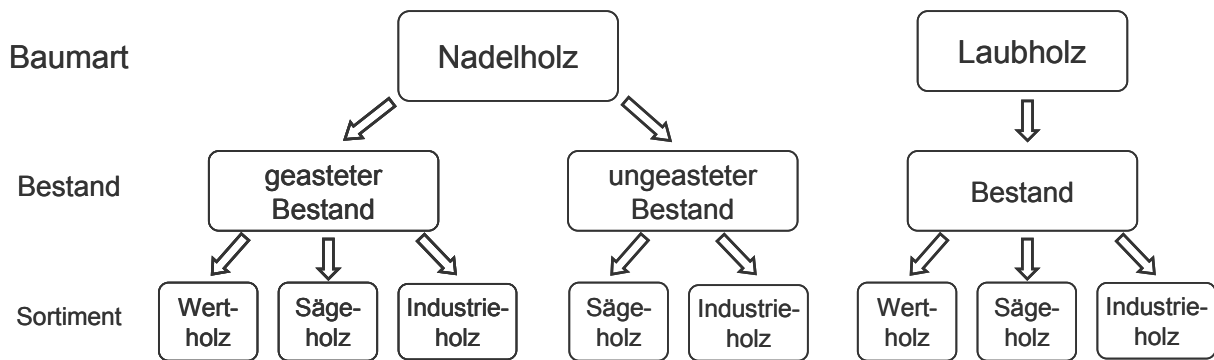


Abbildung 3 Je Baumart in der Portfolioanalyse berücksichtigte konventionell erzeugte Bestände und die darin produzierten Sortimente

Fichte

Die Bestandesdaten aller konventionell behandelten Bestände wurden mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA (z.B. KAHN und PRETZSCH, 1997) erzeugt. Für den ungeasteten Fichtenbestand (Fi) wurde der als Beispiel im Wuchsmodell SILVA enthaltene Bestand (Ertragskundliche Charakteristika vgl. Tabelle 1) bis zum Alter von 90 Jahren fortgeschrieben, was der gewählten Umtriebszeit¹ entspricht (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 1 Ertragskundliche Kennwerte der verwendeten Fichten-, Kiefern-, Buchen- und Eichenbestände (Bonität Fichte nach ASSMANN und FRANZ, 1963; Kiefer nach WIEDEMANN, 1943; Buche nach SCHOBER, 1967; Eiche nach JÜTTNER, 1955)

Baumart	Alter ²	Stammzahl	dg	Bonität
Fichte	25	1620	15,3	38
Kiefer	10	2020	4,6	I
Buche	55	460	18,2	0,35
Eiche	65	1720	13,5	I

Als Standortseinstellungen wurden bei der Waldwachstumssimulation für Fichte diejenigen des Oberbayerischen Tertiärhügellandes gewählt. Die erste Durchforstung erfolgte nach 25 Jahren. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde auch der Abtriebswert des verbleibenden Bestandes gleich Null gesetzt, was aber nur für die Fälle von Bedeutung ist, in denen Bestände kalamitätsbedingt ausfallen. In der Simulation wurde ein Durchforstungseingriff je Fünfjahresperiode und eine Stammzahlleitkurve für starke Durchforstung vorgesehen. Als Durchforstungsart wurde ein Z-Baumverfahren mit der von BEINHOFER und KNOKE (2007c) empfohlenen Anzahl von 150 Z-Bäumen je Hektar (vgl. Tabelle 2) und der Entnahme von 2 Bedrängern je Z-Baum und Durchforstung gewählt. Diese starken Eingriffe, besonders in jungen Beständen, sollen stabilisierend wirken und eine rasche Durchmesserentwicklung der Z-Bäume ermöglichen. Wenn in dieser Arbeit die Bestandesentwicklung mit SILVA dargestellt wurde, wurden die Simulationsläufe stets viermal wiederholt, um so einen Ausgleich der programmbedingten Wachstumsstreuungen zu erreichen. Anschließend wurden die Daten für eine Fläche von 1 ha errechnet.

¹ Mit Umtriebszeit wird hier der Zeitraum der Kapitalbindung zwischen Anlage der Kultur und Endnutzung des Bestandes bezeichnet. Auch die Angabe von Zeitpunkten erfolgt immer von der Kulturbegründung ($t = 0$) her gerechnet.

² Mit Alter wird hier stets das Investitionsalter in Jahren, also der Zeitraum seit Kulturbegründung, angegeben.

Die Naturaldaten des geasteten Fichtenbestandes (FiAst) wurden analog ermittelt. Die Unterschiede zum ungeasteten Bestand bestehen nur in der längeren Umtriebszeit von 100 Jahren (vgl. Tabelle 2) sowie den zusätzlichen Ausgaben und Einnahmen durch die Astungsmaßnahme. Die Auswahl der Astungsbäume erfolgte bei Fichte und Kiefer anhand der im Endbestand erreichten Durchmesser. Dabei wurde die Astung für die stärksten Bäume unterstellt, nachdem die Vitalität ein entscheidendes Kriterium für die Auswahl von Werträgern ist (z.B. BURSCHEL et al., 1989; DONG und ROEDER, 1995; WILHELM et al., 1999a). So kann erreicht werden, dass möglichst viele geastete Bäume innerhalb der geplanten Umtriebszeit den für Wertholz erforderlichen Mindestdurchmesser erreichen. Gleichzeitig liefern diese vitalen Bäume durch ihre größeren Dimensionen mehr Wertholz. Dabei ist anzumerken, dass bei geastetem Nadelholz nur die Astreinheit und nicht die Jahrringbreite über die Wertholztauglichkeit entscheidet (z.B. ABETZ, 1972; MOSANDL et al. 1995; BUES, 1996; BERGMANN und v.d. WENSE, 2003).

Tabelle 2 Zusammenfassung der gewählten Umtriebszeiten und Durchforstungskonzepte der konventionell behandelten Bestände

Bestand	FiAst	Fi	KieAst	Kie	Bu	Ei
Durchforstung	Z-Baumdurchforstung mit 150 Z-Bäumen		Z-Baumdurchforstung mit 200 Z-Bäumen		Hochdurchforstung	typisches Spessartkonzept
Umtriebszeit in Jahren	100	90	150	140	130	220

Kiefer

Zur Ableitung der Bestandesdaten des ungeasteten Kiefernbestandes (Kie) wurde die Entwicklung des im Waldwachstumssimulator SILVA (z.B. KAHN und PRETZSCH, 1997) als Beispiel enthaltenen Kiefernjungbestandes (Ertragskundliche Charakteristika vgl. Tabelle 1) bis zum Alter von 140 Jahren simuliert. Als Durchforstung wurde das für Kiefer oftmals empfohlene Z-Baumverfahren (z.B. ABETZ, 1972; DONG und ROEDER, 1995; EDER, 1999) mit 200 Z-Bäumen je Hektar berücksichtigt. Diese Anzahl stellt die Schnittmenge der Astungsempfehlungen für Bayern und Baden-Württemberg dar (StMELF, 1999; FVA, 2000). Als Standortseinstellungen wurden diejenigen des Oberpfälzer Becken- und Hügellandes³ gewählt. Weiter wurde ein Durchforstungseingriff je Fünfjahresperiode und eine Stammzahlleitkurve für starke Durchforstung vorgesehen. In Anhalt an WIPPERMANN (2005) wurde davon ausgegangen, dass nach 30 Jahren die erste Durchforstung erfolgt. Bis dahin wurde der Abtriebswert gleich Null gesetzt. Für den geasteten Kiefernbestand (KieAst) war das Vorgehen analog, nur erfolgte die Fortschreibung bis zum Alter von 150 Jahren.

Buche

Zur Simulation des konventionell behandelten Buchenbestandes (Bu) wurde der Buchenbeispielbestand des Waldwachstumssimulators SILVA (z.B. PRETZSCH, 2000) bis zu einem Alter von 130 Jahren fortgeschrieben (Ertragskundliche Charakteristika vgl. Tabelle 1). Der Abtriebswert dieses Bestandes wurde bis einschließlich eines Alters von 50 Jahren gleich Null

³ Die Simulation der Bestandesentwicklung der einzelnen Baumarten für unterschiedliche Wuchsgebiete erscheint auf den ersten Blick eine deutliche Verzerrung darzustellen. Die tatsächlichen Auswirkungen sind allerdings minimal, dennoch wird der Aspekt der Datengrundlage in der Diskussion noch näher beleuchtet.

gesetzt. Ab diesem Alter wurde eine starke Hochdurchforstung mit Eingriffen in 5-Jahresintervallen gewählt. Davor wurden drei schwächere Eingriffe, sowie eine Jungwuchspflege unterstellt. Dieses Vorgehen folgt der Buchenpflegerichtlinie der Bayerischen Staatsforstverwaltung (2000). Für die durchgeführten Waldwachstumssimulationen wurden die Standorteinstellungen des Wuchsgebiets Spessart gewählt.

Eiche

Die Simulation des konventionell erzogenen Eichenbestandes (Ei) mit Hilfe des Waldwachstumsprogramms SILVA (z.B. PRETZSCH, 2000) orientierte sich an der gängigen Praxis in den klassischen unterfränkischen Eichenwertholzgebieten (SCHMIDT, 2003). Für die Simulation wurde der von SCHMIDT (2003) verwendete 65-jährige Eichenbestand einer waldbaulichen Versuchsfläche (z.B. MOSANDL et al., 1991; MOSANDL und PAULUS, 2002) fortgeschrieben (Ertragskundliche Charakteristika vgl. Tabelle 1). Dabei wurden die Standortseinstellungen des Wuchsgebiets Spessart gewählt. Bis zum Alter 65 wurden lediglich Pflegemaßnahmen durchgeführt, die nur Ausgaben verursachten. Gleichzeitig wurde der Abtriebswert bis zu diesem Alter gleich Null gesetzt. Anschließend wurde bis zu einem Bestandesalter von 120 Jahren eine mäßige Auslesedurchforstung mit einer variablen Zahl von Ausleseebäumen simuliert. Hierzu wurden Eingriffe alle 10 Jahre, erstmals im Alter von 75 Jahren, unterstellt und ab dem Alter 120 eine Hochdurchforstung bis zum Alter von 190 Jahren simuliert. Anschließend erfolgte bis zur Endnutzung im Alter 220 (vgl. Tabelle 2) kein Eingriff mehr. Der Buchennebenbestand wurde in der Simulation und auch in den finanziellen Analysen nicht berücksichtigt.

Erforderliche Ausgaben in den Beständen

Für die Begründung der Fichtenbestände mit vierjährigen Pflanzen wurden Auszahlungen in Höhe von 2.000 €/ha angesetzt. Dies leitet sich aus einer empfohlenen Begründungsdichte von 3.000 Pflanzen je Hektar (StMELF, 1993; BURSCHEL und HUSS, 1997) mit Ausgaben von 0,65 €/Pflanze ab. Für den Fall, dass ein Bestand kalamitätsbedingt ausfällt, wurde in der vorliegenden Arbeit aufgrund der erschwerten Bedingungen auf Kalamitätsflächen stets eine um 10 % erhöhte Auszahlung für die Kultur angesetzt.

Für die Kalkulation wurde unterstellt, dass die Kiefernkultur mit 4.000 Pflanzen je Hektar begründet wird. Diese Anzahl erscheint trotz der traditionell hohen Pflanzenzahl auch ohne Astung ausreichend (BEINHOFER und KNOKE, 2009). Die Kulturbegründung erfolgte mit zweijährigen Kiefern, was z.B. in der nordbadischen Rheinebene die Regel ist und auch für Bayern empfohlen wird (THREN, 1985; StMELF, 1995). Dabei ist mit Ausgaben von 0,5 € pro Pflanze zu rechnen, so dass sich Gesamtausgaben in Höhe von 2.000 €/ha ergeben (vgl. Tabelle 3; WIPPERMANN, 2005; BEINHOFER, 2008a).

Für den konventionell behandelten Buchenbestand wurde eine Kultur mit 6.000 Pflanzen je Hektar angenommen. Diese Anzahl wird als gerade noch ausreichende Untergrenze für Buchenbestände im Bayerischen Staatswald genannt (StMELF, 2000). Bei Ausgaben je Pflanze von 0,8 € (LWF, 2004) ergeben sich für die Kulturbegründung Ausgaben in Höhe von 4.800 € je Hektar. Für die Begründung des konventionell erzogenen Eichenbestandes mittels Saat wurde mit Ausgaben in Höhe von 5.000 € pro Hektar (Forstamt Rothenbuch, 2004) gerechnet (vgl. Tabelle 3).

Die Ausgaben für die Pflegemaßnahmen im Nadelholz und bei Buche wurden unter Berücksichtigung der Vorgabezeiten des EST für X-Holz-lang festgesetzt (vgl. Tabelle 3). Die Ausgaben für Pflegemaßnahmen des konventionell erzeugten Eichenbestandes wurden aus SCHMIDT (2003) übernommen.

Tabelle 3 Zusammenfassung der Ausgaben für Kulturbegründung, Pflege und Astung der konventionell bewirtschafteten Bestände (in Klammern: Bestandesalter zum Zeitpunkt der Maßnahme)

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
Ausgaben für die Kultur in €/ha	2.000	2.000	4.800	5.000
Ausgaben für Pflegemaßnahmen in €/ha	500 (10)	250 (10) 300 (20)	300 (10)	365 (20; 35) 210 (45; 55; 65)
Ausgaben für Astung in €/ha	921 (20)	440 (10) 550 (20)	-	-

Die Astung der Fichten wurde in Anlehnung an BEINHOFER und KNOKE (2007c) auf 150 Bäume je Hektar beschränkt, die im Alter von 20 Jahren bis auf 5,5 m geastet wurden. So ergaben sich bei Astungskosten von 6,14 € pro Baum Gesamtausgaben in Höhe von 921 €/ha (MOSANDL und KNOKE, 2002b) (vgl. Tabelle 3). Die Astung in den Kiefernbeständen erfolgte an 200 Bäumen je Hektar. Entgegen dem üblichen Verfahren der Trockenastung wurde hier zumindest teilweise von einer Grünastung ausgegangen, da wiederholt festgestellt wurde, dass die Grünastung auch an Kiefer problemlos möglich ist (z.B. LÜCKE, 1968; BERGMANN und v.d. WENSE, 2003; BERGMANN, 2006). Auf diese Weise kann auch früher geastet werden, so dass die Kiefern früher mit der Bildung von astfreiem Holz beginnen und die erforderliche Schicht an astfreiem Holz schon bei geringeren Durchmessern erreichen.

In Anhalt an LÜCKE (1968) wurde hier 10 Jahre nach der Kulturbegründung bis zu einer Höhe von 3 m geastet. Eine zweite Astungsmaßnahme erfolgte im Alter von 20 Jahren bis zur Endhöhe von 5,5 m. Nach HUSS (1999) ist es auch bei frühzeitiger Auswahl, also bei Oberhöhen unter 10 m wie in diesem Fall, möglich die Z-Bäume mit etwa 90 % Sicherheit richtig festzulegen. Somit wurde davon ausgegangen, dass beim ersten Astungsdurchgang zur Sicherheit 10 % mehr Bäume geastet werden. Dadurch hat man für die II. Astungsstufe eine Auswahlmöglichkeit und kann sich negativ entwickelnde Kiefern aussortieren, was auch den Vorschlägen von LÜCKE (1968), BERGMANN und v.d. WENSE (2003) sowie BERGMANN (2006) entspricht. Für dieses Vorgehen ergeben sich Ausgaben in Höhe von 440 bzw. 550 €/ha (BEINHOFER, 2008a) (vgl. Tabelle 3).

Die Ausgaben für die Holzernte orientierten sich an bayerischen Daten (SANDER, 2006; FELL, 2007) und an Kalkulationen von SAUTER et al. (2004) (vgl. Tabelle 4). Für das Industrieholz aus den Industrieholzbeständen (vgl. Kapitel 4.1.2.3) wurden aufgrund der starken Astigkeit infolge der weitständigen Begründung höhere Holzerntekosten unterstellt. Das gleiche gilt für das Sägeholz aus den astigen Kronen der Nadelbäume in den Wertholzbeständen (vgl. Kapitel 4.1.2.1). Die Holzerntekosten für Wert- und Sägeholz aus den Laubwertholzbeständen unterscheiden sich nicht, da das Sägeholz aus nicht wertholztauglichen, wenngleich geasteten Erdstämmen stammt. Das Wertholz unterscheidet sich nicht in den verschiedenen Beständen, so dass die Holzerntekosten als gleich angesetzt wurden.

Tabelle 4 Durchschnittliche Holzerntekosten der einzelnen Sortimente in €/fm

Baumart	Wertholz	Sägeholz		Industrieholz	
		Sonstige Bestände	Wertholzbestände	Sonstige Bestände	Industrieholzbestände
Fichte	14	15	20	16	18
Kiefer	13	14	20	12	15
Buche	13	16	13	18	21
Eiche	13	16	13	18	21

Holzsortierung

Um den finanziellen Wert des verbleibenden und des ausscheidenden Bestandes für jede Periode ermitteln zu können, wurden mit Hilfe des Sortierungs- und Voluminerungsprogramms BDAT (KUBLIN und SCHARNAGEL, 1988) die enthaltenen Sortimente ermittelt. Die Fichten- und Kiefernstämme wurden dabei in 5,1 m lange Fixlängen eingeteilt, wobei der Mindestzopf für Fichte 10 cm ohne Rinde betrug, während für Kiefer 12 cm ohne Rinde verwendet wurden. Die Aufarbeitungsgrenze für das Industrieholz lag beim Nadelholz bei 7 cm. Eine Aufarbeitung von Langholz wurde nicht vorgesehen, geht doch der Trend beim Nadelholz, auch im Starkholzbereich, eindeutig in Richtung von Standardlängen (KWF, 2004; SAUTER et al., 2004; HEHN et al., 2005). Daneben wurde für Fichte eine Qualitätsstruktur des Fichtensägeholzes von 80 % B-, 18 % C- sowie 2 % D-Holz (KNOKE, 1998) und bei Kiefer 95 % BC- und 5 % D-Holz (BEINHOFER, 2008a) unterstellt.

Damit die Astung der Fichten technisch nutzbare Bereiche von astfreiem Holz liefert, sind Schichten von mindestens 10 bis 15 cm im Radius erforderlich (z.B. MOSANDL et al., 1995; BUES, 1996; StMELF, 1999). Daraus errechnet sich ein Mindestdurchmesser für Wertholz bei Fichte von 50 cm. Die geasteten Erdstämme wurden ebenfalls in 5,1 m langen Stammstücken ausgehalten. Das aufsummierte Volumen der geasteten Abschnitte von Bäumen über 50 cm Brusthöhendurchmesser ergab das Wertholzvolumen. Bei allen hier betrachteten Beständen bzw. Baumarten wurde das Wertholz bei regulärer Holzernte ausschließlich in der Endnutzung geerntet. Fiel ein Bestand aus, der schon Wertholz enthielt (z.B. geastete Bäume mit erreichtem Mindestdurchmesser), wurde dies natürlich auch bei der Abtriebswertberechnung berücksichtigt.

Für eine technische Verwertbarkeit des Kiefernwertholzes sind mindestens 10 cm breite astfreie Schichten nach erfolgter Überwallung nötig (BURSCHEL et al., 1989; 1994). Gleichzeitig erfordert die Überwallung der Astwunden einen Durchmesserzuwachs von 5 cm (BURSCHEL et al. 1989). In der vorliegenden Studie wurde die erste Astung bei Brusthöhendurchmessern von unter 10 cm mit Rinde unterstellt. Somit wäre die Forderung nach den technisch verwertbaren astfreien Holzschichten ab einem Brusthöhendurchmesser von 35 cm erfüllt. Dem Prinzip Vorsicht folgend wurde hier davon ausgegangen, dass erst ab einem Brusthöhendurchmesser von 40 cm die ebenfalls 5,1 m lang ausgehaltenen geasteten Erdstämme als Wertholz verkauft werden können.

Für Buche wurden ein Stammholzzopf von 25 cm und ein Industrieholzzopf von 14 cm verwendet. Damit liegt der Aufarbeitungszopf, wie bei der Eiche, knapp unter den in der Rohholzaufkommensprognose der BWI² verwendeten mittleren Werten, während der Stammholzzopf in der vorliegenden Studie etwas höher liegt (BMELV, 2005b). Die Maximallänge des

Buchenstammholzes wurde auf 10 m, im Endnutzungsbestand auf 15 m festgelegt. So ergaben sich Stammholzanteile, wie sie auch in Praxisberichten dargestellt werden (z.B. StMELF, 2000; RÖSSLER und NEUMANN, 2006; LEDER, 2006). Analysen der Holzpreisstatistiken der Bayerischen Staatsforstverwaltung von 1994 bis 2004 ergaben, dass 75 % des Wertholzes die Stärkeklassen L5 und L6 aufweisen, so dass als Vereinfachung nur Holz dieser Stärkeklassen als mögliches Wertholz betrachtet wurde. Nach einer Analyse von SPELLMANN (2005) hat das Wertholz in der Endnutzung von Buchenbeständen einen durchschnittlichen Anteil von 11 % am geernteten Stammholz. Ein entsprechender Anteil wurde auch in dieser Studie berücksichtigt. Weiter wurde unterstellt, dass der potentielle Wertholzanteil der jüngeren Bestände proportional zur Abnahme des Volumens der Stämme der Stärkeklasse L5 und L6 absinkt. Dieses potentielle Wertholz spielt aber nur im Falle eines kalamitätsbedingten Ausfalls eine Rolle, wird es doch sonst nicht geerntet. Für die Bewertung der übrigen Stammholzsortimente wurde mit den mittleren Qualitätsanteilen der letzten Jahre (StMLF, 1994-2004) von 38 % B-, 56 % C- und 6 % D-Holz gerechnet. Damit hat sich gegenüber früheren Untersuchungen (BURSCHEL und HUSS, 1997) der Anteil von B- und C-Holz am Stammholz nahezu umgedreht.

In Anlehnung an SCHMIDT (2003) wurde für alle Eichenbestände der Stammholztopf auf 22 cm ohne Rinde festgelegt, während die Aufarbeitungsgrenze für Industrieholz bei 11 cm lag. In den bis zu 120 Jahre alten konventionell bewirtschafteten Beständen wurde eine Maximallänge des Stammholzstücks von 10 m, in den älteren Beständen die Aushaltung eines 6,5 m langen Erdstammstücks und eines weiteren maximal 10 m langen Stammholzstücks unterstellt. Die Länge dieses Erdstammstücks entspricht etwa dem Mittel der von SCHMIDT (2003) angegebenen Erdstammlängen. Ab dem Alter 200 wurde mit einer Erdstammlänge von 7,5 m gerechnet, was nahe am Maximalwert liegt, der von SCHMIDT (2003) verwendet wurde.

Auch bei der Eiche ist festzustellen, dass für die Klassifikation als Wertholz meistens die Stärkeklasse L5 erforderlich ist (BEINHOFER, 2007c). Für klassische Eichengebiete in Baden-Württemberg wird von Wertholzanteilen in Endnutzungsbeständen von maximal etwa 40 % berichtet (KENK, 1984). Für den Endbestand wurde hier das Volumen eines entsprechenden Anteils vom gesamten geernteten Stammholz ermittelt. Dieses wurde dann unter den Erdstämmen mit einer Stärkeklasse von mindestens L5 als Wertholz ausgewiesen. Für die jüngeren verbleibenden Bestände wurden die potenziellen Wertholzanteile analog zum Vorgehen bei Buche reduziert. Zur Bewertung des restlichen Sägeholzes wurden die in den Jahren 1994 bis 2004 im Mittel in der Holzpreisstatistik beobachteten Qualitätsanteile verwendet (StMELF, 1994-2004). Ohne Wertholz, das einen Anteil von 6 % hatte, ergibt sich für das restliche Stammholz eine Qualitätsverteilung von 41 % B-, 56 % C- und 3 % D-Holz. Auch für Baden-Württemberg wird von einem ähnlich niedrigen A-Holzanteil von nur 4 % berichtet (KENK, 1984).

4.1.2 „Optimierte“ Bestände

Im Folgenden wird die Herleitung der Naturaldaten und der anfallenden Sortimente sowie der erforderlichen Ausgaben für die einzelnen „optimierten“⁴ Bestände dargelegt. Gegenstand der Optimierung war neben den finanziellen Aspekten besonders der Sortimentsanfall in den einzelnen Beständen. So ist es das Ziel möglichst nur ein Sortiment je Bestand zu ernten bzw. es sollte zumindest die Einnahmen dominieren. Einen Überblick über die verschiedenen „optimierten“ Bestände und die darin anfallenden Sortimente gibt Abbildung 4.

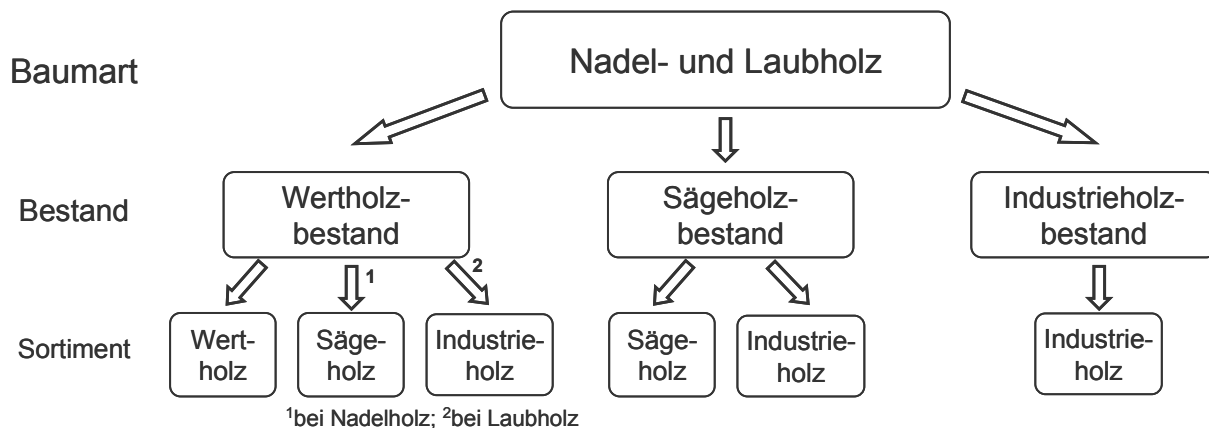


Abbildung 4 Je Baumart in der Portfolioanalyse berücksichtigte „optimierte“ Bestände und die darin produzierten Sortimente

Nachdem hier die Ähnlichkeiten zwischen der Produktion einzelner Sortimente und weniger innerhalb einer Baumart bestehen, wird in diesem Kapitel nach dem angestrebten Hauptprodukt gegliedert.

4.1.2.1 Bestände zur Wertholzproduktion

Zusammenfassung des Optimierungsansatzes

Zusammenfassend zeichnen sich die Bestände zur Wertholzproduktion durch eine weitständige Bestandesbegründung und damit geringe Kulturkosten aus. Durch die stammzahlarme Erziehung soll stets ein maximaler Durchmesserzuwachs der ausgewählten Bäume erzielt werden. Zur Erreichung der gesteckten Qualitätsziele wurde bei allen Baumarten Astung unterstellt. Durch das starke Durchmesserwachstum ist zudem eine frühe Ernte des Wertholzes möglich. Daneben wurde eine zinssatzabhängige Umtriebszeitoptimierung durchgeführt.

Fichte und Kiefer

Die Entwicklung des Fichten- und Kiefernbestandes zur Wertholzproduktion orientierte sich jeweils an in Versuchsflächen gemessenen Daten⁵. Im Fichtendurchforstungsversuch

⁴ Die Optimierung umfasste nie alle finanziell relevanten Eingangsgrößen der Bestände, so dass dieser Begriff nur teilweise passend ist. Dennoch erschien die Bezeichnung „optimierte“ Bestände als Abgrenzung gegenüber den konventionell behandelten Beständen geeignet. Im Folgenden werden die finanziell optimierten Parameter jeweils am Kapitelanfang dargelegt.

⁵ Ein Kritikpunkt an den „optimierten“ Beständen ist die sehr heterogene Datengrundlage bezüglich der Bestandesentwicklung. Anders war es aber nicht möglich solche alternativen Bestandesbehandlungen mit betrachten zu können. Der Aspekt der heterogenen Datengrundlage wird in der Diskussion erneut aufgegriffen.

Freising (HUSS, 1990) existiert eine Extremvariante, bei der im Alter von 59 Jahren noch knapp 200 Bäume je Hektar stehen. Der Nachteil dieses Versuchs ist, dass erst im Alter 27 mit der Durchforstung begonnen wurde und die völlig ungepflegten Bestände bis dahin extrem dicht aufwuchsen (HUSS, 1990). Gleichzeitig existiert in Traunstein ein Fichten-Solitärversuch (PRETZSCH et al., 2001) ähnlicher Bonität. Dieser Versuch wurde in einem mit 4.500 Fichten je Hektar begründeten Bestand nach 14 Vegetationsperioden angelegt. Auf der Extremparzelle wurden bis auf 390 Fichten je Hektar alle Bäume entfernt. Inzwischen sind diese Bäume 31 Jahre alt. Um das im Freisinger Fichtendurchforstungsversuch bis zur ersten Durchforstung verloren gegangene Dickenwachstum auszugleichen, wurde der Durchmesserzuwachs der in den Freisinger Extremparzellen noch vorhandenen Fichten mit dem in Traunstein zu beobachtenden Zuwachsgang kombiniert.

Dieses Vorgehen bot sich an, da die beiden Versuchsflächen in dem Altersbereich, in dem sich die Messungen überlappen (Alter 26 bis 33), die gleichen Durchmesserzuwächse bei den jeweils 100 stärksten Bäumen aufwiesen. Der resultierende Zuwachsgang führte in 50 Jahren bei den meisten Fichten zu einem Brusthöhendurchmesser von über 50 cm. Dieser BHD wurde analog zu den konventionell behandelten Beständen als Untergrenze für das Wertholz verwendet. Gleichzeitig wurde die Höhenentwicklung der Bäume des Fichtendurchforstungsversuchs Freising übernommen, da bei Fichte bereits mehrfach festgestellt wurde, dass die Höhenentwicklung kaum vom Standraum abhängt (z.B. VANSELOW, 1956; LÄSSIG, 1991; KENK, 1990; SEIFERT et al., 2003; MÄKINEN und HEIN, 2006; SAGEMÜLLER, 2006). Die Daten der Bestandesentwicklung der Fichtenwertholzbestände (FiWH) bis zu einem Alter von 55 Jahren wurden dann in eine Umtriebszeitoptimierung einbezogen. Die ertragskundlichen Daten des 50-jährigen Bestandes, der für einen Zinssatz von 2 % hiebsreif wäre, sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5 Ertragskundliche Kennwerte der für einen Zinssatz von 2 % hiebsreifen Fichten-, Kiefern-, Buchen- und Eichenwertholzbestände (Bonität Fichte nach ASSMANN und FRANZ, 1963; Kiefer nach WIEDEMANN, 1943; Buche nach WIEDEMANN, 1931; Eiche nach JÜTTNER, 1955)

Baumart	Alter	Stammzahl	dg	Bonität
Fichte	50	198	55,3	40
Kiefer	70	217	44,4	0,5
Buche	65	40	63,3	I
Eiche	95	62	63,0	1,5

Im Gegensatz zur Fichte gibt es für Kiefer relativ wenige Durchforstungsversuche, die Extremvarianten enthalten. Für diese Studie wurden Daten des Kieferndurchforstungsversuchs in Burglengenfeld (HUSS, 1983 und 1991) verwendet. Dort wurden 1976 in einem 16-jährigen Kiefernbestand Extremparzellen etabliert, auf denen nach dem Ersteingriff noch 600 Kiefern verblieben. Im Jahr 1990 wurde die Anzahl noch einmal halbiert und bei der letzten Aufnahme 2001 waren noch 217 Kiefern je Hektar vorhanden. Vor den Eingriffen erwuchs der Kiefernbestand extrem engständig, so dass im Ersteingriff fast 18.000 Bäume entnommen werden mussten (HUSS, 1991).

Um über die Einzelbaumdaten nicht nur zu den Aufnahmezeitpunkten zu verfügen, sondern in Fünfjahresschritten, wurde für jede einzelne Fichte bzw. Kiefer, die bei der letzten Aufnahme noch auf den Versuchspartellen in Freising und Burglengenfeld stand, eine logarithmische

Ausgleichsfunktion für die Höhen- und Durchmesserentwicklung aufgestellt. Die Verwendung logarithmischer Ausgleichsfunktionen diente der Vereinfachung. Alle Kurven wiesen sehr hohe Bestimmtheitsmaße auf. Durchforstungsmaßnahmen wurden in den Beständen zur Wertholzproduktion nicht vorgesehen, so dass es genügte die Entwicklung der Bäume des Endbestandes nachzubilden.

Im Zuge der letzten Aufnahme des Kiefernversuchs im Alter 41 erreichten lediglich 2 Bäume auf den Parzellen (14 Bäumen/ha) einen BHD von über 40 cm. Dieser BHD wurde analog zum Vorgehen für die konventionell behandelten Bestände als Untergrenze für die Erzeugung von Wertholz verwendet. Das Wachstum der Kiefern musste folglich bis zu einem höheren Alter fortgeschrieben werden, um mehr Bäume in die Wertholzdimension zu bekommen. Dazu wurden die logarithmischen Wachstumskurven der Einzelbäume verwendet. In die durchgeführte Umtriebszeitoptimierung des Kiefernwertholzbestandes (KieWH) gingen Umtriebszeiten von bis zu 90 Jahren ein. Wichtige ertragskundliche Kenngrößen des 70-jährigen Endbestandes, der für einen Zinssatz von 2 % hiebsreif ist, sind in Tabelle 5 dargestellt.

Buche

Die Durchmesserentwicklung des geasteten Buchenwertholzbestandes (BuWH) wurde mit Hilfe einer Formel nach HASENAUER et al. (1994) für Buchensolitäre bis zu einem Alter von 65 Jahren nachgebildet. Die Formel lautet:

$$\text{LN (BHD)} = 0,51382 + 1,15738 * \text{LN (H)} \quad \text{Formel 1}$$

Mit Hilfe dieser Formel wird der Brusthöhendurchmesser (BHD) eines Solitärbaumes in Abhängigkeit von seiner Höhe (H) errechnet. Die Höhe von sehr weitständigen Buchenbeständen ist allerdings geringer als von stammzahlreich erzogenen Beständen (z.B. BRYNDUM, 1987), wobei der Grad der Reduktion jedoch schwer quantifizierbar ist (FREISE und SPIECKER, 1999). Um eine gewisse Reduktion des Höhenwachstums zu berücksichtigen, wurde die Kalkulation des Brusthöhendurchmessers anhand der Höhen des Grundflächenmittelstammes des weitständig begründeten Buchensägeholzbestandes (siehe Kapitel 4.1.2.2) durchgeführt. Um zu ermitteln, wie viele solcher Buchen auf einem Hektar Platz haben, wurde über einen von HASENAUER et al. (1994) für Solitärbäume ermittelten Zusammenhang der Kronendurchmesser (KD) aus dem Brusthöhendurchmesser errechnet. Diese Formel lautet:

$$\text{LN (KD)} = 0,89389 + 0,45361 * \text{LN (BHD)} \quad \text{Formel 2}$$

Aus dem Kronendurchmesser wurde die von einem Baum überschirmte Fläche berechnet. In Anhalt an FREISE und SPIECKER (1999) wurde in diesem Bestand von einem Überschirmungsgrad von 75 % ausgegangen. Somit hätten im Alter von 60 Jahren noch genau 40 derartige Buchen auf einem Hektar Platz. Für ein Alter von 65 Jahren steigt die Überschirmung bei 40 Buchen auf knapp 80 % an. Dies wurde toleriert, nachdem spätestens im Alter 65 die Endnutzung erfolgte und dies die höchste Umtriebszeit war, die in die Umtriebszeitoptimierung einging. Die Entnahme der restlichen ungeasteten Buchen erfolgte im Alter von 35 Jahren. Die ertragskundlichen Charakteristika des für einen Zinssatz von 2 % optimalen Erntezeitpunkts sind in Tabelle 5 dargestellt.

Eiche

Die Bestandesentwicklung des geasteten Eichenbestandes (EiWH) wurde mit Hilfe der Ertragstafel von JOBLING und PEARCE (1977) für frühzeitige, starke Freistellung von wenigen Eichen bis zum Alter 100 abgebildet. Dabei wurden lediglich die Stammzahlen der jungen Bestände an die hier unterstellte weitständige Bestandesbegründung mit 1.000 Eichen je Hektar angepasst. Daneben wurde die Einbringung von 250 Pflanzen für einen dienenden Nebenbestand unterstellt, der durch eine entsprechende Schaftbeschattung verhindern soll, dass sich an den geasteten Erdstämmen Wasserreiser bilden. Mögliche Einnahmen aus dem Nebenbestand wurden in der Kalkulation nicht berücksichtigt. GAUL und STÜBER (1996) ermittelten, dass etwa 10 % der Eichen aus Weitverband eine gute Schaftform aufwiesen. Somit dürfte es auch bei solch stammzahlarmer Begründung möglich sein, eine ausreichende Anzahl an Astungsbäumen zu finden. Die ertragskundlichen Kennwerte des für einen Zinssatz von 2 % hiebsreifen Eichenbestandes fasst Tabelle 5 zusammen.

Erforderliche Ausgaben in den Beständen

Für den Fichtenwertholzbestand wurde die Begründung mit 400 vierjährigen Pflanzen je Hektar angenommen, beim Kiefernbestand wurden 500 zweijährige Pflanzen unterstellt. Dies führte zu Ausgaben in Höhe von 300 bzw. 280 €/ha (vgl. Tabelle 6). Für eine Endbaumzahl von 40 Buchen schien eine Kulturbegründung mit 800 Buchen je Hektar ausreichend, auch wenn nach KRAHL-URBAN (1963) nur 40 % bis 60 % der Buchenpflanzen einer weitständigen Kultur die ersten Jahrzehnte überstehen und davon auch nur 23 % bis 40 % von guter Qualität sind. Bei Ausgaben je Pflanze in Höhe von 0,80 € (LWF, 2004) ergaben sich insgesamt Ausgaben für die Kultur in Höhe von 640 €/ha (vgl. Tabelle 6). Die Bestandesbegründung der Eiche erforderte Ausgaben in Höhe von 1.000 €/ha, die sich aus 800 €/ha für die 1.000 Eichen und 200 €/ha für die 250 Pflanzen des Nebenbestandes zusammensetzen.

Die Ausgaben für die Pflegemaßnahmen in den Kiefern- und Fichtenbestände 10 und 15 Jahre nach der Kulturbegründung (vgl. Tabelle 6), im Zuge derer die nicht geasteten Bäume entnommen wurden, richteten sich nach den Zeitvorgaben des Erweiterten Sortentaris (EST) für die Aufarbeitung von X-Holz lang. Gleichzeitig zur Astung wurden im Buchenbestand Pflegemaßnahmen mit der Entnahme von jeweils einem Nachbarbaum je geasteter Buche unterstellt, was zu Ausgaben von 50 € im Alter 20 bzw. 85 € je Hektar im Alter 25 führte. Infolge der weitständigen Begründung des Eichenbestandes war nur im Alter von 30 Jahren eine Pflegemaßnahme mit Ausgaben in Höhe von 250 € erforderlich.

Tabelle 6 Zusammenfassung der Ausgaben für Kulturbegründung, Pflege und Astung der „optimierten“ Bestände (in Klammern: Bestandesalter zum Zeitpunkt der Maßnahme)

Bestand	Ausgaben für die Kultur in €/ha	Ausgaben für Pflegemaßnahmen in €/ha	Ausgaben für Astung in €/ha
FiWH	300	230 (10); 50 (15)	850 (10); 840 (15)
FiSH	2.000	500 (10)	
FilH	490		
KieWH	280	290 (10); 40 (15)	605 (10); 770 (15)
KieSH	2.000	250 (10); 300 (20)	
KielH	365		
BuWH	640	50 (20); 85 (25)	150 (20); 225 (25)
BuSH	800		
BulH	640		
EiWH	1.000	250 (30)	231 (20); 347 (25)
EiSH	800		
EilH	640		

In den Wertholzbeständen wurde die Astung von 200 Fichten und 220 Kiefern bis 5,5 m unterstellt. Beim ersten Astungsdurchgang 10 Jahre nach der Kulturanlage wurden zur Sicherheit noch 10 % mehr Bäume bis 3 m geastet. Die zweite Astung bis 5,5 m erfolgte 5 Jahre später. Durch dieses Vorgehen ist anzunehmen, dass wie von KELLER und PFÄFFLI (1987) empfohlen, stets mindestens 5 lebende Astquirle erhalten bleiben. Die Ausgaben orientierten sich dabei an Kalkulationen von BEINHOFER (2009a).

Die Astung von Eichen war besonders in Mittelwäldern weit verbreitet (z.B. HAMM, 1900; FRANK, 1939; VLAD, 1940; KÖSTLER, 1950). Heute gibt es für Hochwaldbestände Empfehlungen zwischen 65 und 120 Eichen je Hektar zu asten, wenngleich die Astung unüblich ist (KRAPPENBAUER und HOCHBICHLER, 1984; HOCHBICHLER und KRAPPENBAUER, 1988; HOCHBICHLER et al., 1990; ROTERT, 2000). In dieser Studie wurde in einem ersten Schritt die Astung von 70 Eichen je Hektar in einem Alter von 20 Jahren bis zu einer Höhe von 4,5 m und fünf Jahre später die Weiterführung an 62 Eichen bis 6,5 m unterstellt. Dies entspricht der Anzahl der verbleibenden Bäume nach der Ertragstafel von JOBLING und PEARCE (1977). Durch Astung kann bis ins schwache Stangenholzalder bis zu 50 % der Blattmasse entfernt werden, ohne dass dies Auswirkungen auf Durchmesserzuwachs oder Höhenwachstum hat (ZIEREN, 1970). Zeitstudien zur Astung von Eichen von der Leiter aus hat ROTERT (2000; 2002) durchgeführt (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7 Zeitbedarf und Ausgaben für die Eichenastung (bei 33€/h) für z.T. grobastige Eichen, besonders in der 2. Astungsstufe viele grobe Äste (nach ROTERT, 2000; 2002, verändert)

Astungshöhe in m	Zeitbedarf je Baum in Min.	Ausgaben in € je Baum
0-4,5	6,0	3,3
4,5-6,5	10,1	5,6

Die Astung der Buchen wurde für das Alter 20 auf 4,5 m und im Alter 25 auf 6,5 m Höhe unterstellt. Für die erste Astungsmaßnahme wurde zur Sicherheit von 45 Buchen ausgegangen, bei der zweiten von den endgültigen 40 Buchen. Dabei wurden in Ermangelung von Zeitstudien zur Astung der Buche die Werte der Eichenastung verwendet (vgl. Tabelle 7).

Holzsortierung

Auch die Sortierung der Bäume der Wertholzbestände und die Ermittlung der Volumina erfolgten mit dem Sortierungs- und Voluminierungsprogramm BDAT (KUBLIN und SCHARNAGEL, 1988). Die Aushaltung in den Nadelholzbeständen, auch der geasteten Erdstämme, erfolgte in 5,1 m lange Fixlängen. Der Zopfdurchmesser betrug bei Fichte 12 cm ohne Rinde und bei Kiefer 14 cm. Auf die Aushaltung von Industrieholz wurde aufgrund der grobstängigen Bäume und der damit notwendigen motormanuellen Aufarbeitung verzichtet. Alle Fixlängen oberhalb des geasteten Erdstammes wurden als Sägeholz der Güteklasse C bewertet, während die geasteten Erdstämme bis zum Erreichen der Wertholzdimension der Güteklasse B zugeordnet wurden. Die Holzerntekosten wurden aufgrund der starken Äste und der erforderlichen besonderen Behandlung des Wertholzes mit pauschal 20 €/fm kalkuliert (vgl. Tabelle 4).

Aufgrund der Astungshöhe wurde die Länge des geasteten Erdstammstückes bei Buche und Eiche auf 6,1 m festgelegt. Dieses Stammstück wurde als Wertholz betrachtet, wenn es mindestens die Stärkeklasse L5 aufwies. Vom maximal möglichen Wertholzvolumen der Buche wurden allerdings 15 % abgezogen und als C-Holz bewertet. Dieser Sicherheitsabschlag begründet sich darin, dass nach HEIN (2004; 2005) bei einem geringen Anteil der Buchen mit Verfärbungen im Schaft infolge der Astung zu rechnen ist. Dabei ist eine Verfärbung nicht gleichbedeutend mit einer Fäule, dennoch kann sie zu einer Wertminderung führen. Dagegen ist durch die ebenfalls auftretende Verfärbung der Äste markseits der Schnittführung kaum ein Wertverlust zu erwarten (HEIN, 2004). Bis zum Erreichen der Stärkeklasse L5 wurde dem übrigen Erdstammvolumen der Buche bzw. den Erdstämmen der Eiche die Güteklasse B zugeordnet, was aber lediglich im Fall kalamitätsbedingter Bestandensernten eine Rolle spielt. Das übrige geerntete Holz wurde vollständig dem Industrieholz zugerechnet.

4.1.2.2 Bestände zur Sägeholzproduktion

Zusammenfassung des Optimierungsansatzes

In den Beständen zur Sägeholzproduktion war stets die Umtriebszeit Gegenstand der finanziellen Optimierung. Daneben wurde für die Nadelholzbestände eine finanzielle Optimierung der Durchforstungsart durchgeführt, wohingegen bei den Laubholzbeständen die Einsparmöglichkeiten bei den Kulturen genutzt wurden. Als Folge wurde eine deutliche Verschlechterung der Holzqualität in Kauf genommen.

Fichte und Kiefer

Die für die konventionell bewirtschafteten Fichten- und Kiefernbestände hergeleiteten Naturaldaten (vgl. Kapitel 4.1.1) wurden zur besseren Vergleichbarkeit auch für die „optimierten“ Nadelholzbestände zur Sägeholzproduktion (FiSH bzw. KieSH) verwendet, allerdings wurde der Simulationszeitraum ausgeweitet. So wurde beim Fichtenbestand ein Zeitraum von 140 Jahren und beim Kiefernbestand von 160 Jahre betrachtet. Anschließend wurden die Umtriebszeit und die Durchforstungsart dieser Bestände nach finanziellen Kriterien optimiert, indem die Variante mit der höchsten Annuität gewählt wurde. Als mögliche Durchforstungen wurden bei Fichte Auslese- und starke Niederdurchforstung sowie die gleiche Z-Baumdurchforstung wie bei den konventionell behandelten Beständen unterschieden. Bei Kiefer wurden

eine starke Niederdurchforstung sowie Z-Baumdurchforstungen mit 50, 100, 150, 200 und 250 Z-Bäumen mit einer undurchforsteten Variante verglichen.

Buche

Als Ausgangspunkt für die Wachstumssimulation des Buchenbestandes zur Sägeholzproduktion (BuSH) dienten Ergebnisse aus in der Vergangenheit weitständig begründeten Buchenbeständen (HEUKAMP, 1999). Die Daten eines etwa 40-jährigen, mit 816 Buchen je Hektar begründeten Bestandes (vgl. Tabelle 8) wurden mit dem Waldwachstumsmodell SILVA bis zum Alter von 80 Jahren fortgeschrieben. Der erste Durchforstungseingriff wurde für das Alter 50 vorgesehen. Bis dahin sollte sich der Bestand schließen und blieb unbehandelt. Die Durchforstungen erfolgten alle 10 Jahre als Hochdurchforstung, die Stärke orientierte sich an der mittleren, im Wachstumsmodell integrierten Grundflächenleitkurve. Zudem wurde das Wuchsgebiet Spessart mit den entsprechenden Standorteinstellungen gewählt. Zusätzlich zur Reduktion der Kulturausgaben wurden anschließend die Umtriebszeiten für unterschiedliche Zinssätze finanziell optimiert.

Tabelle 8 Ertragskundliche Kennwerte der fortgeschriebenen Buchen- und Eichenbestände (Bonität Buche nach WIEDEMANN, 1931; Eiche nach JÜTTNER, 1955)

Baumart	Alter	Stammzahl	dg	Bonität
Buche	40	500	25,0	I
Eiche	19	850	7,0	I

Eiche

Die von GAUL und STÜBER (1996) ermittelten Daten eines 19-jährigen, im Weitverband begründeten Eichenbestandes (vgl. Tabelle 8) dienten als Eingangsgrößen für die Wachstumssimulation des Eichenbestandes zur Sägeholzproduktion (EiSH). Dieser Ausgangsbestand wurde bis zu einem Alter von 130 Jahren fortgeschrieben. Dabei war die Durchmesserentwicklung deutlich schneller als im konventionell behandelten Eichenbestand. Bereits im Alter von 65 Jahren war der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dg) dieses Bestandes fast doppelt so groß wie im konventionell erzeugten Eichenbestand. Ab einem Alter von 50 Jahren wurden alle 10 Jahre Hochdurchforstungseingriffe simuliert. Für diese Bestandesentwicklung wurden die mittlere Grundflächenleitkurve des Waldwachstumsmodells SILVA und die Standorteinstellungen des Wuchsgebiets Spessart gewählt. Anschließend wurde die Umtriebszeit für unterschiedliche Verzinsungsforderungen optimiert.

Erforderliche Ausgaben in den Beständen

Die Bestandesbegründung der Nadelholzbestände erfolgte genauso wie in den konventionell erzeugten Beständen, wodurch sie unter den „optimierten“ Beständen durch hohe Kulturkosten auffallen (vgl. Tabelle 6). Auch die Pflegekosten wurden von den konventionell bewirtschafteten Beständen übernommen. Für die Bewertung des Buchenbestandes wurde von einer Bestandesbegründung mit 1.000 Buchen ausgegangen. Daraus ergaben sich Ausgaben für die Kulturbegründung von 800 €/ha (vgl. Tabelle 6). Pflegemaßnahmen wurden in diesen Buchen- und Eichenbeständen nicht vorgesehen.

Eine Pflanzenzahl von 1.000 Eichen erschien für den Eichensägeholzbestand ausreichend, womit sich Ausgaben in Höhe von 800 €/ha ergaben (vgl. Tabelle 6). Berücksichtigt man die

von GAUL und STÜBER (1996) genannten Mortalitätsraten mit entsprechend weitständiger Begründung von unter 10 %, so verblieben immer noch mindestens 900 Eichen bis zu einem Alter von 20 Jahren. Auch PETERSEN (2006) ermittelte lediglich gut 10 % an Ausfall in einer Eichenkultur in den ersten 10 Jahren. HUSS (2006), der in Eichenkulturen deutlich geringere Überlebensraten feststellte, führte dies auf einen sehr starken Rehwildeinfluss zurück.

Holzsortierung

Die Ermittlung der Holzsortimente mit BDAT (KUBLIN und SCHARNAGEL, 1988) erfolgte in den Nadelholzbeständen genauso wie in den konventionell erzeugten Beständen. Aufgrund der konventionellen Begründung und Erziehung wurden auch die gleichen Qualitätsanteile unterstellt.

Die Qualitätsanalyse von Buchen aus Weitverbänden ergab nach LEDER und HANKE (2005a,b) eine mittlere grün- und totastfreie Stammlänge von etwa 30 % der Baumhöhe, so dass hier mit einer Höhe von 27 m im Endbestand 8 m durchaus erreicht werden können. Diese Länge wurde bei der Sortimentsermittlung als maximale Stammlänge verwendet und ebenfalls im Eichenbestand für das Stammholz unterstellt. Entsprechende Stammlängen bis zur Kronenansatzhöhe wurden auch von Eichen in einem oberholzreichen Mittelwald in Iphofen (BEINHOFER, 2007c) erreicht. Die Zopfstärken wurden auch beim Laubholz von den konventionell erzeugten Beständen übernommen. Bei der Bewertung des Sägeholzes aus den Laubholzbeständen wurde eine Qualitätsverteilung von 85 % C- und 15 % D-Holz unterstellt, um die Qualitätseinbußen durch die weitständige Begründung abzubilden. Der verglichen mit der Holzpreisstatistik hohe D-Holzanteil spiegelt die wiederholt geäußerte Sorge wieder, dass starke abgestorbene Äste zu Fäulen führen (z.B. WILHELM et al., 1999b).

4.1.2.3 Bestände zur Industrieholzproduktion

Zusammenfassung des Optimierungsansatzes

Die Idee hinter diesen Beständen war, mit möglichst geringem finanziellen Aufwand in möglichst kurzer Zeit Industrieholz zu produzieren. Dabei kommen die niedrigen Qualitätsanforderungen an dieses Sortiment dem Produktionskonzept mit weitständiger Begründung entgegen. Die Umtriebszeiten änderten sich für diese Bestände nicht mit dem Zinssatz und auch die Begründungsdichte wurde nicht optimiert. Durchforstungen oder Pflegemaßnahmen wurden für keinen Bestand zur Industrieholzproduktion vorgesehen.

Naturale Datengrundlage

Die Daten der Fichtenbestände zur Industrieholzproduktion (FiIH) stammen aus einer waldwachstumskundlichen Versuchsfläche in Traunstein (PRETZSCH et al., 2001), von der auch Daten in die Kalkulation des Fichtenbestandes zur Wertholzproduktion eingeflossen sind. Für den Industrieholzbestand wurden Daten einer Variante verwendet, bei der nach 14 Vegetationsperioden nur noch 660 Fichten auf der Fläche belassen wurden. Das Volumen des verbleibenden Bestandes nach 20 Jahren Produktion wurde in der finanziellen Bewertung verwendet und eine entsprechend weitständige Begründung unterstellt. Somit wurde die Volumenleistung leicht unterschätzt, da die auf der Versuchsfläche verbleibenden Bäume die ersten 14 Jahre in einem engeren Verband aufwuchsen.

Die Bestandesdaten des Kiefernbestandes zur Industrieholzproduktion (KieIH) basieren auf denselben Versuchsflächendaten wie die Bestände zur Wertholzproduktion (HUSS, 1991). Hier verblieben nach dem Ersteingriff in einen 16-jährigen Kiefernbestand noch 578 Kiefern je Hektar, so dass eine entsprechend weitständige Bestandesbegründung unterstellt wurde. Der Vorrat dieser Versuchsfläche im Alter 25 ging dann in die finanzielle Bewertung ein. Wie bei der Fichte wurde auch hier der Zuwachs unterschätzt, denn die Kiefern traten aufgrund der engen Kulturbegründung bis zum Ersteingriff tatsächlich in starke Interaktion. Die ertragskundlichen Kennwerte der verwendeten Versuchsflächen von Fichte und Kiefer sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Angegeben sind die Daten für die letzte Aufnahme vor der hier unterstellten Endnutzung. Die Vorräte wurden bis zu dieser über einen kurzen Zeitraum, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der nächsten Aufnahme, interpoliert.

Tabelle 9 Ertragskundliche Kennwerte der verwendeten Fichten- und Kiefernbestände (Bonität der Fichte nach ASSMANN und FRANZ, 1963; Bonität der Kiefer nach WIEDEMANN, 1943)

Baumart	Alter	Stammzahl	dg	Bonität
Fichte	17	660	17,4	40
Kiefer	23	578	18,3	0,5

Für die Laubholzbestände zur Industrieholzproduktion (BuIH bzw. EiIH) wurden die Daten der weitständig begründeten Bestände zur Sägeholzproduktion im Alter 40 (Buche) und 50 (Eiche) verwendet.

Erforderliche Ausgaben in den Beständen

Die Kulturbegründung des Fichtenbestandes wurde mit 750 Pflanzen je Hektar unterstellt, so dass sich Kulturkosten von 490 €/ha ergaben. Für den Kiefernbestand wurden 725 Pflanzen je Hektar angenommen, was zu Ausgaben in Höhe von 365 €/ha führt (vgl. Tabelle 6). Diese Pflanzzahlen richteten sich nach den auf den Versuchsflächen zum unterstellten Erntezeitpunkt vorhandenen Baumzahlen. Beim Laubholz wurde die kalkulierte Kulturbegründung aufgrund der geringeren Qualitätsanforderungen bei Industrieholz auf 800 Pflanzen je Hektar und damit auf Kulturkosten von 640 €/ha beschränkt (vgl. Tabelle 6).

Holzsortierung

Der Aufarbeitungszopf lag beim Nadelholz mit 7 cm bei der Derbholzgrenze, beim Laubholz analog zu den Sägeholzbeständen bei 11 cm für Eiche und 14 cm für Buche. Die entsprechenden Holzvolumina unterhalb dieser Zopfstärken wurden mit Hilfe des Programms BDAT (KUBLIN und SCHARNAGEL, 1988) ermittelt. Das gesamte in diesen Beständen geerntete Holz wurde dem Industrieholz zugeordnet.

4.2 Finanzielle Bewertung

Die bisher dargestellte Bestandesentwicklung hat großen Einfluss auf die finanzielle Leistungsfähigkeit der Baumarten, die hier mit der Annuitätenmethode quantifiziert wird (vgl. Kapitel 4.2.2). Die Annuitäten werden im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt.

4.2.1 Monte-Carlo-Simulation

Die Monte-Carlo-Simulation ist in der Physik, im Ingenieurwesen und in der Finanzwelt eine weit verbreitete Methode, um stochastische Prozesse abzubilden. Das Grundprinzip ist, einen zufallsbehafteten Prozess in vielen Wiederholungen zu simulieren. Dazu müssen für alle Einflussfaktoren (z.B. Preise) stochastische Prozesse vorgegeben werden. In der Simulation werden dann Zufallszahlen aus Wahrscheinlichkeitsverteilungen gezogen, die den tatsächlichen Verteilungen der zu modellierenden Größe entsprechen sollten. Oftmals werden hierbei auch Normal- oder Log-Normalverteilungen verwendet. Streuungen und Korrelationen der Einflussgrößen (z.B. Preise) werden anhand historischer Daten abgeleitet. Das Zentrum der Monte-Carlo-Simulation ist somit ein Zufallszahlengenerator, mit dessen Hilfe für jeden Simulationsdurchgang jede Einflussgröße neu ermittelt wird (z.B. DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; PICOULT, 2002).

Monte-Carlo-Simulationen sind demnach komplexe Ansätze die viel Rechenzeit und qualifizierte Mitarbeiter erfordern. In Zukunft ist eine weitere Verbreitung aufgrund steigender Rechengeschwindigkeiten und sinkender Kosten für Informationstechnologie zu erwarten, während zudem Standardsoftware entwickelt wird, die komplexe Simulationen erlaubt (DOWD, 1998). Die Monte-Carlo-Simulation wird angewendet, wenn einfachere Ansätze nicht mehr ausreichen und ist besonders nützlich, wenn es sich um multidimensionale Probleme handelt, das Ergebnis also z.B. von mehreren Risikovariablen, wie in diesem Fall von den schwankenden Holzpreisen und den Kalamitätsrisiken, abhängt. Die Attraktivität erhöht sich dabei mit ansteigender Dimension des Problems (DOWD, 1998).

Mit den simulierten Werten einer Wiederholung erfolgt dann eine vollständige Neubewertung der betrachteten Objekte, weshalb die Monte-Carlo-Simulation oftmals mit der „Full Valuation Method“ gleichgesetzt wird. Nach genügend vielen Wiederholungen geht die Ergebnisverteilung der Simulation in die unbekannte, wahre Verteilung über. Aus dieser Verteilung können dann z.B. Erwartungswert, Varianz oder Downside-Risikomaße berechnet werden. Dabei hat die Anzahl der Wiederholungen einen großen Einfluss auf die Repräsentativität und Güte der Simulationsergebnisse und der daraus abgeleiteten Größen (z.B. DOWD, 1998; BÜHLER et al., 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; RAU-BREDOW, 2001; CHOUDHRY, 2006).

Bei der Festlegung der Wiederholungsanzahl zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen Genauigkeit und Rechenaufwand. Die Genauigkeit ist hierbei proportional zu $1/\sqrt{N}$, wobei N die Wiederholungszahl ist. Besonders wenn hohe Genauigkeitsanforderungen bestehen, ist eine Monte-Carlo-Simulation sehr rechenintensiv. Daneben richtet sich die Wiederholungszahl ebenso nach der Anzahl der veränderlichen Variablen (DOWD, 1998) und der Häufigkeit von Extremwerten, die je seltener sie sind, umso mehr Rechenläufe erfordern. Selbst bei 1.000 Wiederholungen können Extremwerte noch stark unterrepräsentiert sein (MEYER, 1999). Ein größeres Problem ist daneben das Modellrisiko, also ob alle Faktoren realitätsnah abgebildet werden (DOWD, 1998).

In den Monte-Carlo-Simulationen dieser Studie wurde die Anlage der ersten Kultur aller am Portfolio beteiligten Bestände zum gleichen Zeitpunkt unterstellt. Anschließend entwickelten sich die Bestände gemäß den Ergebnissen der Naturaldatenermittlung, allerdings unter Berücksichtigung der Kalamitätsrisiken, bis zum Ablauf der jeweiligen Umtriebszeit. Die Preis-

simulation über Bootstrapping (vgl. Kapitel 4.3.2.1) wurde in die Monte-Carlo-Simulation integriert. Mit dem so für jeden Erntezeitpunkt gezogenen Holzpreisjahrgang wurden die Holzanfälle der verschiedenen Mischungskomponenten bewertet. Für jede Wiederholung der Monte-Carlo-Simulation wurden die Zahlungsströme für jede Mischungskomponente zu einer Annuität verdichtet.

Die Monte-Carlo-Simulation wurde in dieser Untersuchung mit 10.000 Wiederholungen durchgeführt, um die ganze Bandbreite der möglichen Ergebnisse bei Integration der Unsicherheiten hinsichtlich des Holzpreises und der Kalamitäten zu berücksichtigen. Die Monte-Carlo-Simulationen wurden mit Hilfe des von BARRETO und HOWLAND (2006) entwickelten Microsoft Excel Add-Ins durchgeführt. Für die Anwendung der klassischen Portfoliotheorie (vgl. Kapitel 4.4.1) wurden die 10.000 Annuitäten je Bestand auf den Mittelwert und die Standardabweichung verdichtet und die Korrelation zwischen den Annuitäten der verschiedenen Mischungsbestandteile ermittelt. Die Berechnung der Downside-Risikomaße (vgl. Kapitel 4.4.2.2) und die Portfoliooptimierung nach diesen Kennzahlen wurde anhand des gesamten in der Monte-Carlo-Simulation ermittelten Datensatzes durchgeführt. Somit wurde hier die Portfoliooptimierung in zwei Schritten vollzogen: Zunächst wurde für jede Mischungskomponente die ganze Ergebnisbreite in der Monte-Carlo-Simulation ermittelt. Diese Daten dienten anschließend als Eingangsgrößen für die Portfoliooptimierung.

4.2.2 Die Annuitätenmethode

Als finanzielle Messgröße dienen in dieser Studie Annuitäten, mit denen es möglich ist, Investitionen mit verschiedenen Laufzeiten zu vergleichen, was aufgrund unterschiedlicher Umtriebszeiten der Bestände nötig war. Der Vergleich wird dadurch ermöglicht, dass mit der Annuitätenmethode die erneute Investitionsmöglichkeit zum internen Zinssatz nach Ablauf einer kürzeren Investitionslaufzeit berücksichtigt wird (HEIDINGSFELDER und KNOKE, 2004). Daneben sind Annuitäten als jährliche äquivalente Raten sehr anschaulich zu interpretieren und somit gegenüber den eher abstrakten Kapitalwerten informativer (MÖHRING, 1994). Zudem ähneln sie durch die Angabe jährlicher Raten dem im Forstsektor verbreiteten Waldreinertrag, der allerdings keine Kalkulationszinsen berücksichtigt. Zur Ermittlung der Annuitäten muss zunächst der Kapitalwert bestimmt werden, der sich aus der Summe der mit einem Kalkulationszinssatz auf den Zeitpunkt der Anfangsinvestition diskontierten Zahlungsströme berechnet. Dieser Kapitalwert wird dann in äquivalente, für die gesamte Investitionslaufzeit gleich bleibende Rentenraten, die Annuitäten, umgerechnet (KOBELT und SCHULTE, 1985). Sowohl bei der Kapitalwertberechnung als auch bei der Verrentung werden Kalkulationszinssätze verwendet. Die Berechnung der Annuitäten erfolgte mit folgender Formel (z.B. HEIDINGSFELDER und KNOKE, 2004):

$$A = K * \frac{(1+i)^T * i}{(1+i)^T - 1}$$

Formel 3

Dabei bezeichnet A die Annuität und K den Kapitalwert, T steht für die Gesamtlaufzeit der Investition und i für den Zinssatz, dargestellt als Dezimalzahl. Nach der Annuitätenmethode ist eine Investition der kalkulationszinssatzbestimmenden Alternative überlegen, wenn die

Annuität positiv ist. Vergleicht man mehrere Investitionen, ist diejenige mit der höchsten Annuität vorteilhaft (WÖHE, 2005).

Die Berechnung der Annuitäten erfolgte in dieser Studie zunächst mit einem Zinssatz von 2 %. In einer anschließenden Sensitivitätsanalyse wurden die Annuitäten auch für Zinsfüße von 1 %, 3 %, 4 % und 5 % berechnet. Der Zeitraum zwischen erster Kulturanlage und geplanter Endnutzung wurde als Investitionslaufzeit betrachtet. Zur Kalkulation der Annuität wurden zunächst die auf den Zeitpunkt der ersten Kulturanlage diskontierten Ausgaben für Pflanzung und Pflege sowie die Einnahmen aus Durchforstungen, der Endnutzung und bei Bestandesausfällen summiert. Nach dem etwaigen Ausfall eines Bestandes wurde der Abtriebswert des neu gepflanzten Bestandes zum eigentlichen Ablaufzeitpunkt der Umtriebszeit als theoretischer Endnutzungserlös in die Kalkulation einbezogen. Wie häufig der Bestand bis zum Erreichen der Umtriebszeit ausfällt, spielt für den Betrachtungszeitraum keine Rolle. Dies hatte zur Folge, dass bei Erreichen der Umtriebszeit nicht alle Bestände das Umtriebsalter aufwiesen, da sie teilweise erst nach einer zwischenzeitlichen Kalamität begründet wurden.

4.3 Integration von Risikofaktoren

4.3.1 Szenarioanalyse

Da Annahmen in Risiko- und Preismodellen nicht unbegrenzt gelten und um die Folgen von tiefgreifenden Veränderungen abzuschätzen, werden Szenarioanalysen und Simulationen im Rahmen des so genannten „Stress-Testing“ durchgeführt. Mit Szenarien werden mögliche zukünftige Gegebenheiten beschrieben oder Entwicklungen aufgezeigt, die sich aus gegenwärtigen Beobachtungen oder Trends der Vergangenheit ableiten (KROTH, 1989). Szenarioanalysen messen folglich die Einflüsse von bestimmten Veränderungen der Einflussfaktoren und können auf einzelne Geldanlagen, Portfolios oder gesamte Konzerne angewendet werden. Wichtig ist zu berücksichtigen, dass für die verschiedenen Szenarien der Wert z.B. des Portfolios ermittelt, aber nicht die Eintrittswahrscheinlichkeit des Szenarios bewertet wird (z.B. DOWD, 1998; KUPIEC, 1998; JORION, 2001; SMITH, 2002; PICOULT, 2002; CHOUDHRY, 2006).

Grundsätzlich gibt es hierbei zwei Ansätze: Zum einen die Überprüfung des Einflusses spezieller Szenarien. Dabei können die Auswirkungen von in der Vergangenheit beobachteten Extremereignissen (historical stress test) oder mögliche zukünftige Extremereignisse (prospective stress test) bewertet werden. Zum anderen gibt es mechanistische Ansätze die eine Vielzahl von Szenarien prüfen, um die schädlichste Kombination von Faktoren und die damit einhergehenden Verluste festzustellen. Sie betonen mehr die Vielzahl von Möglichkeiten als bestimmte Szenarien (z.B. DOWD, 1998; JORION, 2001; KUPIEC, 1998).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Effekte möglicher zukünftiger Entwicklungen der Holzpreise (vgl. Kapitel 4.3.2.3 und 4.3.2.4) sowie eine im Rahmen des Klimawandels mögliche Vergrößerung des Kalamitätsrisikos (vgl. Kapitel 4.3.3.3) in verschiedenen Szenarien abgeprüft.

4.3.2 Holzpreise und Holzpreismodelle

Für eine finanzielle Analyse müssen die ermittelten Holzanfälle mit Holzpreisen bzw. holz-erntekostenfreien Erlösen bewertet werden. Das Vorgehen wird in diesem Kapitel genauso wie die Holzpreissimulation und die drei von unterschiedlichen Marktbedingungen ausgehenden Holzpreismodelle erläutert.

In der Ökonomie ist es weit verbreitet, bei finanziellen Bewertungen auf Preiszeitreihen der Vergangenheit zurückzugreifen (z.B. REDMOND und CUBBAGE, 1988; THOMSON, 1991; KNOKE et al., 2005). Entsprechend wird hier zunächst ein konventionelles Preismodell („Historisch“, vgl. Kapitel 4.3.2.2) betrachtet und als Referenzvariante verwendet. Aufgrund der verstärkten energetischen Nutzung, der Globalisierung und Veränderungen in der Holzindustrie ist aber damit zu rechnen, dass sich zukünftig die Holzpreise anders entwickeln. Aus diesem Grund wurden noch zwei alternative Holzpreismodelle (vgl. Kapitel 4.3.2.3 und 4.3.2.4) betrachtet.

Die Bewertung der Wert- und Industrielholzanfälle erfolgt direkt in der Monte-Carlo-Simulation mit den ermittelten zufallsbehafteten Holzpreisen, abzüglich der Holzerntekosten. Alle Holzanfälle innerhalb dieser beiden Klassen wurden dabei als homogen betrachtet und mit einheitlichen Holzpreisen und Erntekosten bewertet. Etwas komplizierter war die Bewertung der Sägeholzsortimente, da hier zusätzlich die Stärkeklasse, die Qualitätsverteilung und die unterschiedlichen Holzerntekosten je nach Stärkeklasse eine Rolle spielen.

Zur Vereinfachung wurden die Sägeholzanfälle zunächst mit über die unterstellte Qualitätsverteilung gemittelten aktuellen Holzpreisen der verschiedenen Stärkeklassen, abzüglich der entsprechenden Holzerntekosten, bewertet. In der finanziellen Bewertung im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation wurde dann ein Quotient aus dem simulierten Holzpreis eines Referenzsortiments und des in die Bewertung eingeflossenen Preises dieses Sortiments gebildet. Die ermittelten Einnahmen aus dem Sägeholz wurden mit diesem Quotient multipliziert, so dass sie in der Kalkulation angelehnt an die Holzpreise schwankten. Durch dieses Vorgehen wird unterstellt, dass die Erlösverhältnisse zwischen den einzelnen Stärkeklassen und den unterschiedlichen Qualitäten gleich bleiben (vgl. Tabelle 10). Für die Nadelholzbestände stellte Holz der Stärkeklasse L2b, für die Laubholzbestände Holz der Stärkeklasse L4 jeweils in B-Qualität das Referenzsortiment dar. Durch Addition der Einnahmen aus den drei unterschiedlichen Sortimenten (Wert-, Säge- und Industrielholz) wurden die Gesamteinnahmen einer Holzerntemaßnahme ermittelt.

Tabelle 10 Holzerntekostenfreie Erlöse der unterschiedlichen Stärkeklassen des Sägeholzes, angegeben in Relation zum Referenzsortiment (grau hinterlegt)

Stärkeklasse	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4	5	6
Fichte (Fi, FiAst, FiSH)	44%	71%	92%	100%	100%	100%	93%	93%	93%
Kiefer (Kie, KieAst, KieSH)	50%	67%	88%	100%	100%	104%	104%	104%	104%
Buche, konventionelle Erziehung (Bu)				48%	59%	87%	100%	121%	137%
Buche, weitständige Begründung (BuSH)				59%	78%	90%	100%	104%	110%
Eiche, konventionelle Erziehung (Ei)			17%	22%	48%	65%	100%	121%	127%
Eiche, weitständige Begründung (EiSH)			26%	34%	58%	70%	100%	113%	113%

4.3.2.1 Holzpreissimulation

Bootstrapping zur Simulation von Preisen kann als Sonderform der historischen Simulation bezeichnet werden. Die historische Simulation wird auch „Backtesting“ oder „empirisch-historische Methode“ genannt. Dabei werden zur Bewertung von Portfolios historische Datenpaare der betrachteten Halteperiode verwendet. Für jede dieser Preiskonstellationen erfolgt eine vollständige Neubewertung des gesamten Portfolios zu Beginn und am Ende der Halteperiode, über die sich die Zusammensetzung allerdings nicht ändern darf. Daraus ergeben sich hypothetische Renditen, wobei unterstellt wird, dies sei eine gute Schätzung für die Risiken der Zukunft (DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; PICOULT, 2002). Analog könnte man im Forstbereich, wenn ausreichend lange Holzpreiszeitreihen vorlägen, alle Holzanfälle einer Umtriebszeit bewerten.

Die historische Simulation ist einfach durchzuführen, wenn entsprechende Zeitreihen für die Portfoliobestandteile vorhanden sind, was für Finanzanlagen meist der Fall ist. Durch die historischen Daten wird die tatsächliche Preisverteilung beibehalten und es werden auch seltene Ereignisse berücksichtigt, wenn diese in der Datengrundlage vorlagen. Es ergeben sich somit keine Probleme hinsichtlich der Verteilung der Preise (z.B. Schiefe) oder sich verändernden Korrelationen, da dies durch die Verwendung von Marktdaten gleicher Zeitpunkte berücksichtigt wird. Zudem muss keine Unabhängigkeit der Preise über die Zeit angenommen werden (DOWD, 1998; MEYER, 1999; PICOULT, 2002; JORION, 2001; CHOUDHRY, 2006).

Aufgrund der Betrachtung tatsächlich aufgetretener synchroner Preiskonstellationen werden auch alle Risikoverbundeffekte von Portfolios korrekt erfasst (MEYER, 1999). Weiter besteht keine Gefahr, Parameter wie die Korrelation falsch zu schätzen, wodurch dieser Ansatz frei von Modellrisiken ist (DOWD, 1998). Daneben wird berichtet, dass der Normalverteilungsansatz bei Ermittlung des Value at Risk das Risiko bereits ab einem Konfidenzniveau von 95 % unterschätzt, während die historische Simulation bis zu einem Konfidenzniveau von 99 % passende Ergebnisse liefert (DOWD, 1998).

Das Hauptproblem stellt die Datengrundlage dar, die für alle Portfoliobestandteile lückenlos über die ganze Stützperiode (historischer Analysezeitraum), auch Datenhorizont genannt,

vorhanden sein muss. Zudem müssen sehr viele Daten vorliegen, z.B. würden für 1.000 Wiederholungen mit einer Halteperiode von 10 Tagen Zeitreihen über 40 Jahre benötigt. Für die langen forstlichen Umtriebszeiten ist dies ein unlösbares Problem. Daneben hängen die Ergebnisse völlig von den gewählten Daten und den darin enthaltenen Ereignissen ab (DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; PICOULT, 2002). Längere Datenreihen erhöhen zwar die Genauigkeit der Ergebnisse, allerdings verändern sich Korrelation und Volatilität auch über die Zeit und alte sowie neuere Beobachtungen überdecken sich. Somit ist ein historischer Datensatz nicht immer repräsentativ für aktuelle Marktbewegungen. Kürzere Datenreihen spiegeln das aktuelle Marktgeschehen besser wider, enthalten aber oft zu wenige Beobachtungen, um verlässliche Schlüsse ziehen zu können (DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; SMITH, 2002).

Kann oder soll der Datenhorizont nicht verlängert werden, kann das Problem zu kleiner Stichproben über Bootstrapping gelöst werden. Während bei der historischen Simulation die Daten in ihrer historischen Reihenfolge einmal verwendet werden, werden beim Bootstrap-Ansatz Stichproben aus der Datengrundlage in zufälliger Reihenfolge mit Zurücklegen gezogen. Die Ziehung erfolgt dabei mit gleicher Wahrscheinlichkeit. Dies wird so oft wie nötig wiederholt, wodurch die Stichprobe künstlich vergrößert wird (DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; LIANG et al., 2006; BENITEZ et al., 2006). Diese Methode wird beispielsweise verwendet, um Holzpreise (LIANG et al., 2006) oder Erlöse von unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen (BENITEZ et al., 2006) zu simulieren.

Wie bei der historischen Simulation bleibt auch beim Bootstrapping die historische Streuung, Korrelation und Verteilung der Daten erhalten, was für Portfoliobetrachtungen von entscheidender Bedeutung ist. Gegenüber der Normalverteilung hat die Verwendung historischer Daten als Simulationsgrundlage ebenfalls den Vorteil, dass sie Extremereignisse enthält, die nie oder fast nie in Normalverteilungen vorkommen würden (DOWD, 1998; JORION, 2001; LIANG et al., 2006). Über Bootstrapping kann man so die kritisierte Verwendung einer Normalverteilung (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005), die häufig für Preissimulationen eingesetzt wird (z.B. ZHOU and BUONGIORNO, 2004) umgehen. Unbedingt sollten komplette und synchrone Datensätze verwendet werden, sonst kann der bedeutende Vorteil, die Berücksichtigung von Risikoverbundeffekten, verloren gehen (MEYER, 1999).

Wie bei der historischen Simulation hängen die Ergebnisse allerdings völlig von der Datengrundlage ab, denn es werden nur Ereignisse berücksichtigt, die auch enthalten sind. Die Datengrundlage entscheidet somit, ob die Ergebnisse geeignet sind, zukünftige Risiken treffend abzubilden. Eine wichtige Voraussetzung für den Bootstrap-Ansatz ist die Unabhängigkeit der Preise über die Zeit, da die Ziehung zufällig erfolgt und somit Muster oder Variationen über die Zeit sowie Autokorrelation verloren gehen. Gilt diese Annahme nicht, ist die Methode eher ungeeignet (DOWD, 1998; JORION, 2001). Wenn die historische Verteilung mehr Extremwerte als die Normalverteilung aufweist und diese damit ungeeignet ist, passt das Bootstrapping genau zum Ansatz der Downside-Risikomaße (JORION, 2001), die gerade die negativen Extreme betrachten.

Die Holzpreissimulation in den ersten beiden Preismodellen (vgl. Kapitel 4.3.2.2 und 4.3.2.3) erfolgte in dieser Untersuchung mit Hilfe von Bootstrapping. Dabei wurde mit Hilfe einer gleichverteilten Zufallsfunktion für jeden Eingriffszeitpunkt ein Jahrgang mit den Holzpreisen

der betrachteten Holzsortimente aus der Datengrundlage gezogen. Mit den so ermittelten Preisen wurden die jeweiligen Holzanfälle an Wert- und Industrieholz nach Abzug der Holzerntekosten direkt bewertet. Beim Sägeholz wurde der Preis des Referenzsortiments (vgl. Kapitel 4.3.2) als Indikator verwendet, mit dem die Sägeholzerlöse schwanken.

4.3.2.2 Holzpreismodell „Historisch“ (Referenz)

In der forstökonomischen Literatur wird meist auf Holzpreisstatistiken der Vergangenheit zurückgegriffen (z.B. REDMOND und CUBBAGE, 1988; THOMSON, 1991; KNOKE et al., 2005). Dieser klassische Weg soll auch hier berücksichtigt werden. Der Vorteil dieses Vorgehens liegt darin, keine Holzpreise, deren Schwankung und ihre Relationen annehmen zu müssen. Allerdings ist auch klar, dass unter sich verändernden Bedingungen (Konzentrationsprozesse auf Holzabnehmerseite, steigende Energieholznachfrage, Globalisierung, steigender Holzverbrauch durch weltweites Wirtschaftswachstum) (z.B. BUONGIORNO, 1977; BAUDIN und LUNDBERG, 1987; TROMBORG et al., 2000), die Preise sich nicht genauso wie in der Vergangenheit entwickeln werden. Für die Portfolioanalyse spielt neben der absoluten Höhe der Preise besonders ihre Relation eine entscheidende Rolle. Dabei ist unter Relation nicht nur das Verhältnis der Preishöhen zu verstehen, sondern auch wie die Preise gegen- oder miteinander schwanken, also wie die Preisentwicklungen miteinander korreliert sind. Dies für die Zukunft vorherzusagen, erscheint noch deutlich komplexer als die Schätzung der Preishöhe. Aus diesem Grund stellt die Vergangenheit eine wichtige Datengrundlage dar, die hier auch als Referenz verwendet wird.

Dem Preismodell „Historisch“ liegen die je Kalenderjahr angegebenen Holzpreisdaten der bayerischen Staatsforstverwaltung von 1972 bis 2004 zugrunde. Die verwendeten Preise sind allesamt ohne Mehrwertsteuer und in Euro je Festmeter angegeben, gelten für unentrindetes Holz und wurden nicht inflationsbereinigt. Über den genannten Zeitraum wurden bei den vier Baumarten die gesamten Wertholzpreise, die Preise der Referenzsortimente und des Industrieholzes ermittelt. Allerdings werden bei der Fichte Preise für nach Mittenstärkensortierung sortiertes Holz erst ab 1974 in der Statistik aufgeführt, so dass die Preise des Referenzsortiments für die Jahre 1972 und 1973 mit den Preisen des Sortiments HL B 2b ergänzt wurden. Für die Bewertung des Industrieholzes wurden bei Fichte die Preise für ISN verwendet, für Kiefer hingegen die Preise für IS und für Buche und Eiche die Preise von IL, jeweils über alle Güteklassen gemittelt. Bei diesen drei Baumarten konnte die Güteklasse N nicht verwendet werden, da sie über den Betrachtungszeitraum nicht durchgängig in der Statistik ausgewiesen wurde. Das Problem mit diesen, über alle Güteklassen gemittelten Preisen ist allerdings, dass aufgrund der jährlich schwankenden Qualitätszusammensetzung eine zusätzliche Streuung entsteht. Für Fichte und Kiefer wurden daneben die Mengen- und Preisangaben mit dem Faktor 0,7 in Festmeter bzw. in € je Festmeter umgerechnet.

Bei Fichte und Kiefer wurde in der Holzpreisstatistik zwischen dem Verkauf von entrindetem und unentrindetem Holz unterschieden. Aufgrund der geringen Mengen an Wertholz von Fichte und Kiefer wurde versucht, die Entrindung herauszurechnen, um die Preise für unentrindetes Holz angeben zu können. Im Zeitraum von 1972-2004 wurden dafür die jährlichen Preisunterschiede zwischen entrindetem und unentrindetem Holz bei Sägeholz der Stärkeklasse L2b in B-Qualität berechnet. Der Preisunterschied betrug im Mittel 3,17 €/fm. Dieser

wurde als Ausgabe für die Entrindung interpretiert und von den Preisen für entrindetes Wertholz abgezogen. Anschließend wurden die Wertholzpreise eines Jahres über die Stärkeklassen und feineren Qualitätseinwertungen (z.B. F, TS) volumengewichtet gemittelt, so dass ein Fichtenwertholzpreis für jedes Jahr vorlag. Die Herleitung eines Wertholzpreises für Kiefer erfolgte analog zum Vorgehen bei Fichte, wobei die abgeleiteten Entrindungskosten im Mittel 8,76 €/fm betragen. Da die Preise für Eichen- und Buchenholz in der Statistik nur für unentrindetes Holz angegeben wurden, entfiel dieser Berechnungsschritt, so dass nur die näher aufgeschlüsselten Wertholzpreise volumengewichtet gemittelt werden mussten.

Tabelle 11 Mittlere Holzpreise der betrachteten Holzsortimente und ihre Standardabweichung in €/fm

		Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
Wertholz	Mittelwert	143	124	155	670
	Standardabw.	48	16	67	204
Sägeholz	Mittelwert	68	62	98	258
	Standardabw.	16	11	26	56
Industrieholz	Mittelwert	39	27	28	24
	Standardabw.	8	11	8	6

Beim Wertholz weist erwartungsgemäß die Eiche im Mittel die höchsten Holzpreise auf (vgl. Tabelle 11). Die Kiefer zeigt die geringsten Wertholzpreise mit gleichzeitig der niedrigsten Streuung. Die Preise des Buchenwertholzes und deren Streuung sind höher als die der Fichte. Die Reihung der Baumarten nach Preishöhe ist beim Sägeholz gleich der beim Wertholz und auch die Streuung erhöht sich wiederum mit steigendem Preisniveau. Beim Industrieholz ist der mittlere Preis bei Eiche am geringsten und für Fichte am größten. Trotz höherem Mittelwert bei der Fichte ist die Standardabweichung genauso groß wie bei Buche. Insgesamt ist sie bei Kiefer am größten und für die Eiche am geringsten.

Tabelle 12 Korrelationskoeffizienten der betrachteten Holzsortimente (unkorrelierte oder negativ korrelierte Preispaare sind grau hinterlegt)

Preismodell „Historisch“	Fichte Wertholz	Fichte Sägeholz	Fichte Industrieholz	Kiefer Wertholz	Kiefer Sägeholz	Kiefer Industrieholz	Buche Wertholz	Buche Sägeholz	Buche Industrieholz	Eiche Wertholz	Eiche Sägeholz	Eiche Industrieholz
Fichte Wertholz		0,32	0,59	0,58	0,37	0,30	0,17	0,33	0,72	0,63	0,48	0,69
Fichte Sägeholz			0,49	0,19	0,87	0,73	0,01	0,15	0,46	0,49	0,58	0,38
Fichte Industrieholz				0,25	0,38	0,74	-0,32	-0,05	0,83	0,83	0,73	0,77
Kiefer Wertholz					0,04	0,02	0,69	0,85	0,53	0,24	0,24	0,61
Kiefer Sägeholz						0,62	-0,06	0,02	0,39	0,47	0,53	0,26
Kiefer Industrieholz							-0,30	-0,08	0,61	0,68	0,65	0,49
Buche Wertholz								0,92	0,11	-0,25	-0,31	0,21
Buche Sägeholz									0,36	-0,01	-0,12	0,43
Buche Industrieholz										0,82	0,54	0,96
Eiche Wertholz											0,72	0,76
Eiche Sägeholz												0,50
Eiche Industrieholz												

Besonders wichtig für die Portfoliobetrachtungen sind die zwischen den Preisen der einzelnen Sortimente auftretenden Korrelationen (vgl. Tabelle 12). Nach der Korrelationsbetrachtung sind besonders durch Mischung von Kiefernindustrie- und -sägeholz mit Kiefernwertholz Diversifikationseffekte zu erwarten. Besonders empfehlenswert erscheinen auch Mischungen unter Beteiligung von Buchenwertholz und Buchensägeholz. So sind deren Preise mit denen von Eichenwert- und -sägeholz sowie mit den Sägeholz- und Industrieholzpreisen von Kiefer und Fichte kaum oder gar negativ korreliert.

4.3.2.3 Holzpreismodell „Brennholz“

In den letzten Jahren wurde von steigenden Preisen von Hackschnitzeln (z.B. NEUGEBAUER et al., 2004), Scheitholz oder anderen Holzbrennstoffen berichtet (WENZELIDES et al., 2006b). Auch HARTMANN und REISINGER (2007) zeigten seit etwa Mitte 2005 deutlich und konstant ansteigende Preise für Hackschnitzel, Holzpellets und Scheitholz. Besonders Kaminholz entwickelte sich dabei zum Kassenschlager (STANG und BEINHOFER, 2007a), auch wenn dies lange Zeit unter den Holzbrennstoffen, bezogen auf den Liter Heizöläquivalent, am teuersten war (HARTMANN und REISINGER, 2007). Daneben wurde geschätzt, dass sich in den letzten Jahren der Brennholzverbrauch privater Haushalte auf über 20 Mio. m³ etwa verdoppelt hat

(MEMMLER, 2007), was auf eine Ausweichbewegung privater Haushalte aufgrund der starken Verteuerung von Erdöl und Erdgas zurückgeführt wurde (MEMMLER, 2007). Noch 2005 wurden im Hausbrand gut 12 Mio. fm verbraucht, wobei Scheitholz mit einem Anteil von 85 % überwog (MANTAU, 2006).

Diese Entwicklung hat natürlich auch Auswirkungen auf die Holzpreise und die Nachfrage nach einzelnen Sortimenten. So werden die Holzpreissteigerungen der letzten Jahre auf die sich rasant entwickelnde Energieholznachfrage zurückgeführt, was sich gerade auf den Preis des Industrieholzes positiv auswirkte, das lange Zeit nur schwer rentabel absetzbar war (WENZELIDES et al., 2006b; MEMMLER, 2007). Dies stellt besonders die Papier-, Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie vor große Herausforderungen und erzeugt überdies Rohstoffversorgungsprobleme (ANONYMUS, 2006; MEMMLER, 2007), da sie dieses Sortiment stofflich nutzen wollen und jetzt Konkurrenz durch die energetische Nutzung verspüren (WENZELIDES et al., 2006a; SCHULTE, 2006). Zudem sind diese Betriebe nur bedingt in der Lage den Preissteigerungen zu folgen, was zu Rohstoffversorgungsproblemen führt und Sorgen um Werksverlagerungen bzw. Stilllegungen aufkommen lässt (WENZELIDES et al., 2006a,b). Gleichzeitig ist es schon heute regional für Forstbetriebe finanziell vorteilhaft, aufgearbeitetes Industrieholz nicht einer stoffliche Verwertung zuzuführen, sondern zu Scheitholz weiter zu verarbeiten (WENZELIDES et al., 2006b). So hat der derzeit hohe und vermutlich langfristig steigende Erdölpreis die Industrieholzsortimente bereits erfasst und wird sich zukünftig auch verstärkt auf die Sägeholzpreise auswirken (SCHULTE, 2006). Sollte der Erdölpreis auch zukünftig hoch bleiben, könnte es dazu kommen, dass nicht nur Industrieholz, sondern auch Teile des klassischen Sägeholzes der stofflichen Nutzung entzogen und energetisch genutzt werden (WENZELIDES et al., 2006b).

Im Holzpreismodell „Brennholz“ wird versucht, diese Entwicklung abzubilden. Die verwendeten Preise für Wert- und Sägeholz wurden dabei dem Preismodell „Historisch“ entnommen. Neu ist bei diesem Modell die Herleitung eines erhöhten Industrie- bzw. Brennholzpreises aufgrund einer unterstellten verstärkten Nachfrage nach Brennholz. Das Industrieholz und die schwächeren Sägeholzsortimente bis zu einer baumartenspezifischen Stärkeklassengrenze wurden hierfür in dem „neuen“ Sortiment IH+ zusammengefasst. Dieses Sortiment umfasste neben dem Industrieholz bei Fichte und Kiefer auch das Sägeholz bis einschließlich der Stärkeklasse L1b, bei Buche bis inklusive Stärkeklasse 3a und bei Eiche bis 2a. Für die Ermittlung der Höhe des Holzpreises des Sortiments IH+ wurden zunächst die Holzpreise der die Grenze bildenden Stärkeklassen aus den Holzpreisstatistiken entnommen. Beim Nadelholz wurden die Preise in B-Qualität erhoben, für Buche und Eiche wurden die Preise von B- und C-Qualitäten ermittelt und volumengewichtet gemittelt. Für jedes Jahr wurde nun die Preisdifferenz zwischen dem gewählten Grenzsoriment und dem gleichzeitig erzielten Industrieholzpreis berechnet. Anschließend wurde der Mittelwert der Preisdifferenzen über den Betrachtungszeitraum bestimmt und zu den jährlichen Industrieholzpreisen addiert (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13 Mittlere Preise und deren Standardabweichung für das neue Sortiment IH+ und die Preissteigerung gegenüber dem Industrieholz des Preismodells „Historisch“

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
IH+ Mittelwert in €/fm	55	42	52	53
IH+ Standard-abw. in €/fm	8	11	8	6
Preissteigerung in €/fm	+16	+15	+23	+29

Die Preissteigerungen sind bei Laubholz deutlich höher, was auch mit der größeren Beliebtheit als Brennholz und dem höheren Heizwert übereinstimmt. Für Fichte und Kiefer ist die Preissteigerung etwa gleich. Durch die Erhöhung liegen die Preise von Fichte, Buche und Eiche relativ nahe beieinander und betragen im Mittel gut 50 €/fm. Lediglich das Kiefernholz wird ca. 10 €/fm schlechter bezahlt. Die Standardabweichungen des Industrieholzes im Preismodell „Historisch“ bleiben auch in diesem Modell erhalten. Die Korrelationskoeffizienten der verschiedenen Holzpreise entsprechen ebenso den Werten des Preismodells „Historisch“ (vgl. Tabelle 12).

4.3.2.4 Holzpreismodell „Energie“

Vor dem Hintergrund steigender Energiepreise und damit vermehrter energetischer Nutzung von Holz, wurden in den letzten Jahren wiederholt theoretische Holzpreise auf Basis des Energiegehalts von Holz in Abhängigkeit des Heizölpreises berechnet (Äquivalenz- oder Gleichgewichtspreise) (z.B. LWF, 2003; SPORRER und REISINGER, 2004) oder Brennstoffkosten von Biomasse sowie Aufarbeitungskosten je Energieeinheit angegeben (z.B. RAAB et al., 2005; HARTMANN und REISINGER, 2007). Auch die Abrechnung von Hackschnitzellieferungen erfolgt vermehrt nach Wärmemenge (NEUGEBAUER et al., 2004). Darüber hinaus war in den letzten Jahren ein mit dem Heizölpreis ansteigender Preis für Brennholz zu beobachten (HARTMANN und REISINGER, 2007). Aus der momentanen Entwicklung kann somit gefolgert werden, dass sich zukünftig der Holzpreis weltweit vermehrt am Erdölpreis ausrichten wird (SCHULTE, 2006). Entsprechend leitet SCHULTE (2006) ölpreisabhängige Holzpreise nach dem Energiegehalt ab und ermittelt so die finanziellen Unterschiede gegenüber einer stofflichen Nutzung zu heutigen Preisen. Nach dieser Berechnung wäre es finanziell vorteilhaft, ab einem Ölpreis von 80 \$ pro Barrel nicht nur das gesamte Industrieholz sondern auch wichtige Sägeholzsortimente energetisch zu verwerten (SCHULTE, 2006; WENZELIDES et al., 2006b). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass für Holzheizungen wesentlich höhere Investitionen erforderlich sind. Somit müssen die Energieholzpreise deutlich unter den Äquivalenzpreisen von Heizöl und Holzbrennstoffen liegen, damit ein Hausbesitzer bei Holzfeuerung auf die gleichen Kosten je Kilowattstunde kommt (STANG und BEINHOFER, 2007a).

Vor diesem Hintergrund und als „Fortsetzung“ des Preismodells „Brennholz“ stützt sich das Preismodell „Energie“ auf die Ergebnisse der „Ölpreisvariante“ einer Studie von EWI/Prognos (2006) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, die vor dem Hintergrund aktuell hoher Energiepreise erstellt wurde. Diese Studie ging von einem nominalen Heizölpreis von 1,202 €/l bzw. 0,12 €/kWh für private Haushalte im Jahr 2030 aus. Die Holzpreisbildung erfolgt in diesem Preismodell anhand eines ölpreisabhängigen Energie-

preises in €/kWh und des Energiegehalts von frischem, feuchten Holz mit einem Wassergehalt von 50 % (LWF, 2003). Allerdings ist aufgrund der höheren Investitions- und Unterhaltskosten für Holzheizungen nicht mit einer vollständigen Übernahme des Energiepreises von Heizöl auf Holz zu rechnen (vgl. STANG und BEINHOFER, 2007a,b). Aus diesem Grund wurde ein 25 %iger Abschlag vom Energiepreis für Heizöl berücksichtigt, so dass der Energiegehalt von Holz hier im Mittel mit 0,09 €/kWh vergütet wird.

Die zu integrierenden Preisschwankungen basieren auf den Heizölpreisen der Periode von 1991 bis 2005 (BMW, 2006), aus denen ein Variationskoeffizient von 28,69 % berechnet wurde. Die Schwankung der Preise wurde dann auf den geschätzten zukünftigen mittleren Energiepreis übertragen. Die Standardabweichung betrug somit 0,026 €/kWh. Daraus ergeben sich die in Tabelle 14 aufgeführten mittleren Holzpreise je Festmeter mit der entsprechenden Standardabweichung. Verglichen mit den beiden anderen Preismodellen werden diese mittleren Preise lediglich vom Mittelwert der Eichenwert- und Eichensägeholzpreise (LB 4) überstiegen.

Die Qualität des produzierten Holzes wurde in diesem Preismodell nicht mehr berücksichtigt, da sich der Preis je Baumart lediglich aufgrund des feststehenden Energiegehaltes ergibt. Somit ist das Verhältnis der Preise der verschiedenen Baumarten durch den jeweiligen Energiegehalt bereits festgelegt, wodurch die Holzpreise der vier Baumarten vollständig positiv korreliert sind. In diesem Preismodell werden die Holzvolumina der Sortimente Wert-, Säge- und Industrieholz direkt in der Monte-Carlo-Simulation bewertet, wobei jeweils über Stärkeklassen gemittelte Erntekosten abgezogen wurden. Somit hat die Dimension dieser drei Sortimente, im Gegensatz zur Qualität, noch einen gewissen Einfluss auf die holzerntekostenfreien Erlöse. In Ermangelung einer tatsächlichen Preisverteilung wurde hier in der Preissimulation eine Normalverteilung unterstellt, aus der dann zufällig schwankende Preise gezogen wurden.

Tabelle 14 Mittlere Holzpreise und ihre Standardabweichung für das Preismodell „Energie“

Baumart	mittlerer Holzpreis waldfrisches Holz in €/fm	Standardabweichung des Holzpreises in €/fm
Fichte	154	44
Kiefer	175	50
Buche	217	62
Eiche	222	64

In diesem Preismodell müssen konsequenterweise bei der Holzernte auch höhere Preise für Treib- und Schmierstoffe berücksichtigt werden. In Anlehnung an die Prognose von EWI/Prognos (2006) wird ein Dieselpreis von 2 €/l unterstellt. Die Auswirkungen einer solchen Preissteigerung wurden anhand von Maschinenkostenkalkulationen (FORBRIG et al., 2004) näher beleuchtet. Es zeigte sich, dass durch eine entsprechende Verteuerung die Holzerntekosten um etwa 25 % ansteigen (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15 Erhöhte Holzerntekosten im Preismodell „Energie“ in €/fm

Baumart	Wertholz	Sägeholz		Industrieholz	
		Sonstige Bestände	Wertholzbestände	Sonstige Bestände	Industrieholzbestände
Fichte	18	19	25	19	23
Kiefer	16	18	25	15	18
Buche	16	20	16	23	26
Eiche	16	20	16	23	26

Die größere Vorgehensweise bei der Festlegung des mittleren Energiepreises sowie der Steigerung der Holzerntekosten kann damit gerechtfertigt werden, dass das absolute Niveau der Holzpreise für diese Betrachtung nicht entscheidend ist. Viel wichtiger ist das durch den Energiegehalt des Holzes fixierte Verhältnis der Preise der einzelnen Baumarten. Außerdem ist die Energiepreisprognose lediglich ein Szenario, das mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet ist.

4.3.3 Risiko von Kalamitäten

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Forstwirtschaft ist das Risiko von Kalamitäten, wie Stürmen oder Insektenschäden (z.B. HANEWINKEL et al., 2008). Dieser Risikofaktor wurde in die vorliegende Untersuchung mit Hilfe von Überlebenswahrscheinlichkeiten integriert. Da sich die Anfälligkeit der verschiedenen Baumarten gegenüber biotischen und abiotischen Angriffen unterscheidet, mussten für die vier betrachteten Baumarten unterschiedliche Überlebenswahrscheinlichkeiten verwendet werden (vgl. 4.3.3.2). Bezugnehmend auf die aktuelle Debatte über den Klimawandel und dadurch steigende Risiken für unsere Wälder, wurden in einem Szenario erhöhte Kalamitätsrisiken berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3.3.3).

4.3.3.1 Kalkulation von Überlebenswahrscheinlichkeiten

Unter der Überlebenswahrscheinlichkeit (\ddot{U}) versteht man die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Waldbestand bekannten Alters ein Intervall bestimmter Länge überlebt (DIETER, 1997). Die Ausfallwahrscheinlichkeit (a) gibt dagegen die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein Waldbestand in diesem Zeitraum ausfällt (DEEGEN, 1994). Damit berechnet sich die Überlebenswahrscheinlichkeit für eine Periode (\ddot{U}_1) wie folgt (DIETER, 1997):

$$\ddot{U}_1 = 1 - a_1 \quad \text{Formel 4}$$

Die Wahrscheinlichkeit, mit der eine gerade begründete Kultur oder ein älterer Bestand die nächsten n Perioden überlebt kalkuliert sich folgendermaßen (DIETER, 1997; KNOKE et al., 2005):

$$\ddot{U}_{[1,n]} = (1 - a_1) * (1 - a_2) * \dots * (1 - a_{n-1}) * (1 - a_n) = \ddot{U}_1 * \ddot{U}_2 * \dots * \ddot{U}_{n-1} * \ddot{U}_n \quad \text{Formel 5}$$

Dabei wird die Ausfallwahrscheinlichkeit der ersten Periode mit a_1 , die der zweiten mit a_2 und der Periode n mit a_n bezeichnet. Analog sind \ddot{U}_1 bis \ddot{U}_n die Überlebenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Perioden.

Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Bestand beliebigen Alters t in der nächsten Periode der Länge x ausfällt (a_x), kann mit folgender Formel kalkuliert werden:

$$a_x = \frac{\ddot{U}_t - \ddot{U}_{t+x}}{\ddot{U}_t}$$

Formel 6

Die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Periode (a_x) ergibt sich somit nicht alleine aus der Differenz der Überlebenswahrscheinlichkeiten zu Beginn (\ddot{U}_t) und am Ende (\ddot{U}_{t+x}) dieses Zeitraums. Vielmehr muss diese Differenz auf die Überlebenswahrscheinlichkeit des Bestandes zu Beginn der Periode, bzw. den Anteil der zu Beginn der Periode noch vorhandenen Bestände bezogen werden, nachdem bis dahin bereits Bestände ausgefallen sind.

Die Überlebenswahrscheinlichkeiten werden häufig in Form von Tabellen (z.B. POZNANSKI, 1973; KOUBA, 2002) oder Diagrammen (z.B. KNOKE et al., 2005; BEINHOFER, 2007b) in Abhängigkeit vom Alter angegeben. Um diese Überlebenswahrscheinlichkeiten in finanziellen Kalkulationen z.B. in Monte-Carlo-Simulationen einsetzen zu können, wird deren Entwicklung auch mit Hilfe von Regressionsfunktionen dargestellt (vgl. Kapitel 4.3.3.2 und 4.3.3.3).

Formel 6 wurde in dieser Untersuchung in den Monte-Carlo-Simulationen verwendet, um die Ausfallwahrscheinlichkeit der Bestände altersabhängig für fünfjährige Perioden zu ermitteln. Die verwendeten Funktionen zur Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeiten über dem Alter werden in den folgenden Kapiteln präsentiert.

4.3.3.2 Simulation von Kalamitätsrisiken der vier Hauptbaumarten

Die für die Fichte verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten basieren auf Daten von MÖHRING (1986), der Waldlebenstafel von KOUBA (2002) sowie Ergebnissen von HOLECY und HANEWINKEL (2006). Zusätzlich wurden die Überlebenswahrscheinlichkeiten von Fichtenbeständen verwendet, die von KÖNIG (1995; 1996) unter alleiniger Betrachtung von Sturmschäden ermittelt wurden. Zum Risiko des Bestandesausfalls durch Sturm wurde anschließend noch die Gefahr des Ausfalls durch andere Kalamitäten nach der Methode von BRÄUNIG und DIETER (1999) addiert. Hierbei dienten die nach Ursachen aufgeschlüsselten kalamitätsbedingten Holzeinschläge der Bayerischen Staatsforstverwaltung von 1990 bis 2004 (StMELF, 2004) als Maßstab. Aufgetragen über dem Alter, ergaben sich aus den Studien verschiedene mögliche Entwicklungen der Überlebenswahrscheinlichkeit.

Basierend auf diesem Spektrum von möglichen Varianten wurden zwei Szenarien mit mittleren und hohen Ausfallrisiken für Fichtenbestände ausgearbeitet (BEINHOFER, 2007b; 2008b). Dabei bildet das Szenario mit hohem Ausfallrisiko die untere Umhüllende der verschiedenen, möglichen Entwicklungen der Überlebenswahrscheinlichkeit. Das Szenario mit mittlerem Ausfallrisiko bildet etwa eine mittlere Entwicklung im beobachteten Spektrum ab. Diese Funktion wurde für das normale Kalamitätsrisikomodell (vgl. Abbildung 5 und Tabelle 16) verwendet. Für das Kalamitätsrisikomodell mit vergrößerten Naturgefahren bildete die Funktion für das hohe Ausfallrisiko die Ausgangsbasis.

Aus den Ergebnissen von DITTRICH (1985) wurden für die Kiefernbestände altersabhängige Überlebenswahrscheinlichkeiten abgeleitet. Die angegebenen naturbedingten Flächenausfallraten in jungen und mittelalten Beständen bis zu einem Alter von 55 Jahren bildeten die Basis für die Ermittlung einer Regressionsfunktion, die die entsprechenden Überlebenswahrscheinlichkeiten abbildet. Diese Funktion wurde extrapoliert und auch für ältere Bestände angewendet. Der Grund für dieses Vorgehen war folgender: Für die Herleitung der altersabhängigen

Überlebenswahrscheinlichkeiten älterer Bestände konnten die Ergebnisse von DITTRICH (1985) nicht verwendet werden, da er neben den naturbedingten Risikofaktoren auch vorzeitige Endnutzungen berücksichtigte. Dieses Problem ergibt sich auch bei den von POZNANSKI (1973) dargestellten Überlebenswahrscheinlichkeiten von Kiefernbeständen, aber erst über einem Alter von 90 Jahren. Die Angaben beider Studien liegen allerdings nicht weit auseinander, POZNANSKI (1973) gibt lediglich etwas höhere Überlebenswahrscheinlichkeiten an.

Auch für die altersabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeiten der Eichenbestände wurden die Ergebnisse von DITTRICH (1985) verwendet. Das Vorgehen war analog zur Kiefer, denn es zeigte sich wiederum das Problem der vorzeitigen Endnutzungen. Somit konnten bei Eiche nur die angegebenen naturbedingten Flächenausfallraten bis zu einem Alter von 85 Jahren verwendet werden. Die Überlebenswahrscheinlichkeiten von Buchenbeständen wurden mit einer von KNOKE und SEIFERT (2008) verwendeten Funktion abgebildet.

Die Datengrundlage für die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Fichte ist somit am besten, wohingegen entsprechende Untersuchungen besonders für Laubholz sehr selten sind. Die aus diesem Vorgehen resultierenden Funktionen zur Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Baumarten wurden anschließend an Modellbetrieben getestet. Dabei wurden zahlreiche Altersklassenverteilungen unterstellt und die prozentualen ZE-Anteile am Einschlag ermittelt. Die Ergebnisse entsprachen sehr gut den tatsächlich zu beobachtenden kalamitätsbedingten Holzanfällen.

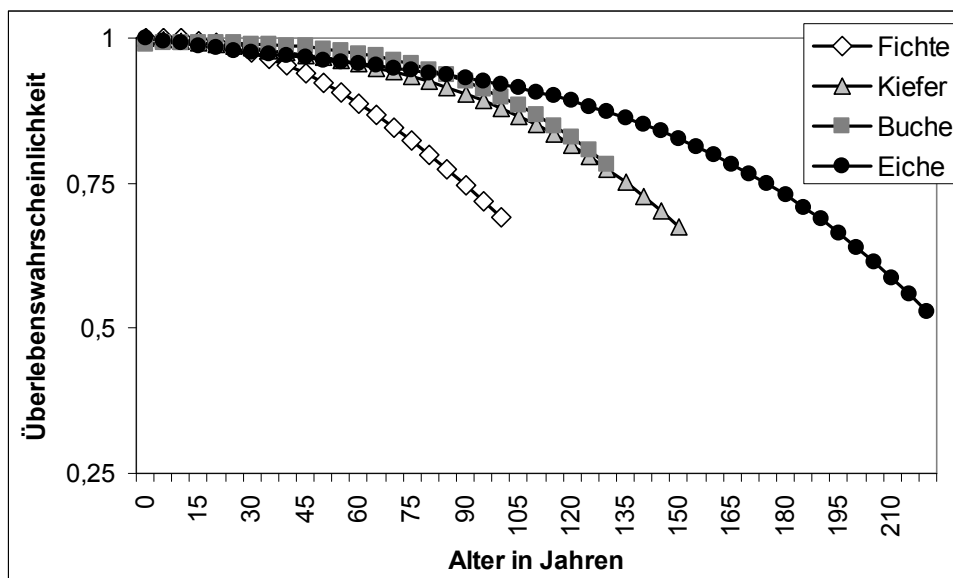


Abbildung 5 Entwicklung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten über dem Alter (BEINHOFER, 2007b; 2008a,c; KNOKE und SEIFERT, 2008)

Die besondere Risikoanfälligkeit der Fichte zeigt sich auch in Abbildung 5, in dem sich die Überlebenswahrscheinlichkeit mit steigendem Alter am schnellsten verringert. Dabei bedeutet eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 0,75 bzw. 75 %, dass ein neu begründeter Bestand nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,75 das entsprechende Alter erreicht und nicht vorher durch eine Kalamität ausfällt. Anders formuliert würden nur Bestände auf 75 ha von heute 100 ha neu begründeten Beständen dieses Alter erreichen. Kiefer und Buche gelten als stabiler und weisen sehr ähnliche kalamitätsbedingte Holzanfälle auf. Entsprechend zeigen

sich ähnliche Überlebenswahrscheinlichkeiten, die gleichzeitig langsamer absinken als die der Fichte. Die Eiche gilt weithin als sehr stabile langlebige Baumart, was sich auch in der langsamsten Reduktion der Überlebenswahrscheinlichkeit mit ansteigendem Alter äußert.

Sinkt bei Fichte die Überlebenswahrscheinlichkeit beispielsweise schon im Alter 90 auf 0,75 ab, so ist dies bei Kiefer und Buche erst im Alter 135 und für die Eiche noch einmal fast 40 Jahre später der Fall. Ein Vergleich der Überlebenswahrscheinlichkeiten der vier Baumarten entspricht somit etwa den Erwartungen hinsichtlich der Stabilität der Baumarten. Allerdings ist zu erwähnen, dass bei den verwendeten altersabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeiten Effekte der Bestandeserziehung auf das Risiko unberücksichtigt bleiben. Die Funktionen zur Kalkulation der in Abbildung 5 dargestellten Überlebenswahrscheinlichkeiten sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16 Funktionen zur Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten in Abhängigkeit vom Alter A (BEINHOFER, 2007b; 2008a,c; KNOKE und SEIFERT, 2008)

Baumart	Funktion zur Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit
Fichte	$\ddot{U}(A) = 6 \cdot 10^{-08} \cdot (A^3) - 4 \cdot 10^{-05} \cdot (A^2) + 3 \cdot 10^{-04} \cdot A + 1$
Kiefer	$\ddot{U}(A) = -9 \cdot 10^{-08} \cdot (A^3) + 3 \cdot 10^{-06} \cdot (A^2) - 6 \cdot 10^{-04} \cdot A + 1$
Buche	$\ddot{U}(A) = -1 \cdot 10^{-07} \cdot (A^3) + 9 \cdot 10^{-05} \cdot A + 0,99$
Eiche	$\ddot{U}(A) = -6 \cdot 10^{-08} \cdot (A^3) + 8 \cdot 10^{-06} \cdot (A^2) - 1 \cdot 10^{-03} \cdot A + 1$

Mit Hilfe dieser Funktionen (vgl. Tabelle 16) konnten die Ausfallwahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit vom momentanen Bestandesalter für die nächste Fünfjahresperiode über Formel 6 ermittelt werden. In der Monte-Carlo-Simulation wurde den Beständen über eine Zufallsfunktion (Binomialverteilung) mit dieser Wahrscheinlichkeit ein kalamitätsbedingter Ausfall zugeordnet, wobei nur die Möglichkeit des bestandesweisen Ausfalls berücksichtigt wurde. Fiel ein Bestand aus, wurde der Abtriebswert ermittelt, eine Auszahlung für die nötige erneute Kulturbegründung angesetzt und das Bestandesalter auf null gesetzt. Anschließend wurde erneut die normale Bestandesentwicklung, wiederum unter den altersabhängigen Ausfallrisiken, bis zum Erreichen der Umtriebszeit unterstellt. Fiel der Bestand nicht aus, setzt er seine normale Entwicklung in dieser Fünfjahresperiode fort. Dieses Vorgehen wurde für jede Fünfjahresperiode wiederholt.

Im Fall einer Kalamität wurde davon ausgegangen, dass nur noch die Hälfte des erwarteten Abtriebswertes erlöst wird. Diese Reduktion scheint aufgrund des kalamitätsbedingten Preisverfalls, der höheren Aufarbeitungskosten und der Holzverluste z.B. aufgrund von gesplittertem Holz bei Sturmereignissen oder den Preiseinbußen bei ungünstigen Zeitpunkten (z.B. Laubholz bei sommerlichen Gewitterstürmen) gerechtfertigt und entspricht empirisch ermittelten Ergebnissen (DIETER, 1997; 2001). Weiter wurde angenommen, dass Bestandesausfälle lediglich zu den Zeitpunkten im Fünfjahresrhythmus, für die genaue Abtriebswerte vorliegen, stattfinden und danach sofort eine neue Kulturbegründung erfolgt. Gleichzeitig erfolgen in diesen Zeitabständen oftmals Durchforstungen, die ja eine kurzzeitige Risikodisposition bedeuten (BURSCHEL und HUSS, 1997; KÖNIG et al., 1995; CLASEN et al., 2008).

4.3.3.3 Risikomodell mit vergrößerten Naturgefahren

In einem Teil der Szenarioanalyse sollte geklärt werden, in wieweit sich ein gesteigertes Katastrophenrisiko auf die optimalen Portfolios auswirkt. Dass ein Szenario mit vergrößerten Naturgefahren durchaus real ist, zeigen neuere Studien zum Klimawandel.

4.3.3.3.1 Erwartete Klimaänderungen

Die prognostizierten Änderungen des Klimas in Deutschland sollen im Folgenden kurz, gegliedert nach den Aspekten Temperatur, Niederschlag und Extremereignisse, dargestellt werden. Relativ einheitlich wird erwartet, dass sich die Durchschnittstemperatur erhöht (z.B. FABIAN, 1991; FABIAN und MENZEL, 1998; WAGNER, 2004; BÖHM, 2006; HÖPPE, 2008; SEILER et al., 2007), wobei neuere regionale Klimamodelle für Deutschland von einem besonders großen Temperaturanstieg im Winter ausgehen (SPEKAT et al., 2007; KÖLLING, 2008). Im Gegensatz dazu ist die Veränderung des Niederschlags schwerer vorherzusagen (RENNENBERG et al., 2004; BÖHM, 2006). Die Prognosen gehen aber dahin, dass der Winter-niederschlag zukünftig zunimmt, der Niederschlag im Sommer dagegen abnimmt, wodurch vermehrt Trockenphasen auftreten (z.B. FABIAN und MENZEL, 1998; KÖLLING und AMMER, 2006; BROSINGER und TRETTER, 2007; SPEKAT et al., 2007; SEILER et al., 2007; HÖPPE, 2008; KÖLLING, 2008). In Summe soll der Jahresniederschlag in Süddeutschland nach den Prognosen etwa gleich bleiben (KÖLLING und AMMER, 2006; SPEKAT et al., 2007; KÖLLING, 2008) oder um bis zu 15 % abnehmen (RENNENBERG et al., 2004). Gleichzeitig wird vorhergesagt, dass die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen wie Stürmen, Hitze- und Dürreperioden sowie Gewittern zunimmt (FABIAN und MENZEL, 1998; BORCHERT und KÖLLING, 2004; RENNENBERG et al., 2004; HANKE, 2005; HÖPPE, 2008).

Für die Forstwirtschaft wird deshalb mit vermehrten Sturmschäden und einer höheren Gefahr von Waldbränden gerechnet (z.B. RENNENBERG et al., 2004; HANKE, 2005; HÖPPE, 2008). Zudem begünstigt die Konstellation mit vermehrtem Winterregen und Stürmen besonders das Auftreten von Sturmschäden (CLASEN et al., 2008). Auch ist bei häufigeren Trocken- und Hitzeperioden mit einer Reduktion der Vitalität der Bäume zu rechnen (z.B. KRIEBITZSCH et al., 2005; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007). Durch die steigenden Temperaturen wird außerdem die Entwicklung von Schadinsekten begünstigt (z.B. LINDNER, 1999; RENNENBERG et al., 2004; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007), was wiederum die biotischen Schäden in der Forstwirtschaft erhöhen wird (z.B. HANKE, 2005; KREHAN und STEYRER, 2006; LEXER et al., 2006). Zudem wird davon ausgegangen, dass Schadinsekten auftreten, die bisher unbekannt oder unbedeutend waren (z.B. RENNENBERG et al., 2004; HANKE, 2005; KREHAN und STEYRER, 2006). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Risiko von biotischen und abiotischen Schäden in den Wäldern aller Wahrscheinlichkeit nach ansteigen wird.

4.3.3.3.2 Einschätzung der Baumarten

Fichte

Die Fichte, der „Brotbaum“ der deutschen Forstwirtschaft, wird nach allgemeiner Einschätzung besonders vom Klimawandel betroffen sein (z.B. THOMASIU, 1991; LINDNER, 1999; VON LÜPKE, 2004; KÖLLING und AMMER, 2006; KÖLLING, 2007; KÖLLING und ZIMMERMANN,

2007; SEILER et al., 2007). Die Gefährdung steigt dabei sowohl aufgrund abiotischer Ereignisse (z.B. Sturm) (THOMASIUS, 1991) als auch durch biotische Kalamitäten (z.B. Borkenkäfer) (z.B. BORCHERT und KÖLLING, 2004; HANKE, 2005). Dies zeigt sich auch in den veröffentlichten Karten zu den zukünftigen Risikogebieten des Fichtenanbaus (z.B. LEITGEB und ENGLISCH, 2006; KÖLLING et al., 2007), die im Wesentlichen auf der Betrachtung von Klimahüllen⁶ basieren (z.B. KÖLLING et al., 2007). Diese zeigen für die Zukunft nur noch eine geringe Übereinstimmung zwischen dem zu erwartenden Klima und den Möglichkeiten der Fichte (z.B. KÖLLING et al., 2007; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007). Auf dieser rein ökologischen Grundlage werden Empfehlungen abgeleitet, die von der Beschränkung des Fichtenanbaus (z.B. WAGNER, 2004) bis zum aktiven Zurückdrängen reichen⁷ (z.B. BROSINGER und TRETTER, 2007; KÖLLING et al., 2007; SEILER et al., 2007). Eine auch finanziell attraktive Alternative, die mit den prognostizierten Veränderungen gut zurecht kommen könnte, ist in der Douglasie zu finden (z.B. KÖLLING, 2008; KNOKE, 2008b).

Kiefer

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kiefer werden sehr unterschiedlich eingeschätzt. Zum einen wird der als trockenheitstolerant geltenden Kiefer eine geringe Anfälligkeit gegenüber den zu erwartenden Änderungen bescheinigt (z.B. THOMASIUS, 1991; FABIAN und MENZEL, 1998; BORCHERT und KÖLLING, 2004; WAGNER, 2004; VON LÜPKE, 2004), was aus ihren Pioniereigenschaften und der breiten ökologischen Amplitude resultiert (BROSINGER und TRETTER, 2007). Zum anderen ist sie gut an Schäden durch Waldbrand angepasst, was zukünftig an Bedeutung gewinnen wird (WALENTOWSKI et al., 2007). Aus diesen Gründen wird erwartet, dass die Kiefer in ihren Anteilen zunimmt und ein Baum der Zukunft ist (HANKE, 2005).

Im Gegensatz dazu wird die Kiefer jedoch auch, ähnlich wie die Fichte, als stark vom Klimawandel betroffen eingeschätzt, was zu einer Reduktion ihrer Anteile und Eignung führt (z.B. WALENTOWSKI et al., 2007; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007; SEILER et al., 2007). Neben der Analyse von Klimahüllen in denen die Baumart vorkommt und die zukünftig weit weniger mit den zu erwartenden Werten übereinstimmen (KÖLLING, 2007; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007), werden auch zu beobachtende Absterbeerscheinungen (z.B. BLASCHKE und

⁶ Eine Klimahülle wird durch die Kombinationen aus Jahrestemperaturen und Jahresniederschlagssummen gebildet, bei denen z.B. die Buche vorkommt oder die z.B. in Bayern auftreten.

⁷ Allerdings ist zu prüfen, ob die z.B. von KÖLLING und ZIMMERMANN (2007) oder KÖLLING et al. (2007) veröffentlichten Klimahüllen der Baumarten als geeignet für waldbauliche Schlussfolgerungen zu bewerten sind. Die Klimahüllen stützen sich nur auf die natürliche Vegetation Europas, also darauf wo eine Baumart von Natur aus vorkommt, so dass der menschliche Einfluss weitgehend ausgeblendet wird (KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007; KÖLLING et al., 2007). KÖLLING et al. (2008) stellen fest, dass beim Anbau besonders von Fichte und Kiefer über den Rand der verwendeten Klimahülle hinausgegangen wurde und die Baumarten am Rand oder etwas außerhalb der Klimahülle sogar besonders gut wachsen. So fordern BOLTE et al. (2008) die reale Baumartenverbreitung bei diesem Ansatz zu berücksichtigen und zudem nicht nur die 95 % häufigsten Klimawerte in der Verbreitung einer Waldbaumart zu integrieren. Würde man das tatsächliche Anbauggebiet berücksichtigen, ergeben sich weiter gefasste Klimahüllen dieser Baumarten (KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007), so dass es interessant wäre, ob auch hier so drastische Auswirkungen des Klimawandels auf die Baumarteneignung zu beobachten wären.

ROLOFF und GRUNDMANN (2008) kritisieren ebenso die Datengrundlage der Klimahüllen von KÖLLING, da sie nur die ökologischen Amplituden der Baumarten, also das Vorkommen unter Konkurrenzdruck anderer Arten enthält, nicht aber die physiologischen Amplituden. Da Anbaurestriktionen wie z.B. Bodenbeschaffenheit und -wasserhaushalt auch nicht berücksichtigt werden (z.B. KÖLLING et al., 2008), sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu genießen (Zu einer umfassenden Diskussion der „Klimahüllen-Methode“ siehe BOLTE et al., 2008).

CECH, 2007; BROSINGER und TRETTER, 2007; WALENTOWSKI et al., 2007) als Hinweise für die zukünftigen Probleme dieser Baumart aufgeführt.

Buche

Viele Untersuchungen zur Buche im Kontext des Klimawandels kommen zu dem Ergebnis, dass kaum Probleme zu erwarten sind (z.B. FELBERMEIER, 1993; 1994; BOLTE, 2005; KÖLLING et al., 2005; KÖLLING und AMMER, 2006; KÖLLING, 2007; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007) und die Buche damit auch unter den veränderten Bedingungen eine wichtige Baumart bleiben wird (KÖLLING et al., 2007) und risikoreichere Baumarten wie die Fichte ersetzt werden sollte (KÖLLING und AMMER, 2006; KÖLLING et al., 2007). Zahlreiche Studien leiten dies aus der Betrachtung der weit gefassten Klimahülle der Buche im Vergleich zur heutigen und zukünftigen Klimasituation ab (z.B. FELBERMEIER, 1993; 1994; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007; KÖLLING et al., 2007; KÖLLING, 2007). Daneben wird das weite Spektrum der Buchenwaldgesellschaften bzw. die weite ökologische Amplitude der Buche betont, wodurch sie unempfindlich gegenüber Änderungen der Standortbedingungen zu sein scheint (BORCHERT und KÖLLING, 2003; 2004).

Allerdings zeigen auch einige Studien, dass die Buche durch den Klimawandel durchaus in Schwierigkeiten geraten könnte. So gibt es auch für die Buche die Empfehlung, den Anbau auf sichere Standorte zu beschränken und in bestehenden Beständen besonders auf die Risikoabsicherung durch Beimischung anderer Arten (z.B. Kiefer, Eiche, Douglasie) zu achten (WAGNER, 2004). Daneben existieren auch Einschätzungen, dass die Buche neben der Fichte besonders vom Klimawandel betroffen sein wird und ihre Anteile sehr stark abnehmen werden (HANKE, 2005) bzw. ihre Anpassungseignung an die zu erwartenden Störungen wie bei der Fichte schlecht ist (VON LÜPKE, 2004). So wurden starke Zuwachseinbrüche bei Buche in Trockenjahren festgestellt, genauso wie sich hohe Temperaturen negativ auf den Zuwachs auswirken (BONN, 2000). Auch Triebblängenuntersuchungen zeigen bei Buche und Fichte ausgeprägtere negative Reaktionen auf warm-trockene Jahre und damit eine stärkere Sensibilität gegenüber dem Klimawandel als z.B. bei Kiefer und Eiche (ROLOFF, 1992; LINDNER, 1999). Zuletzt wurden auch deutliche Zuwachsdepressionen bei der Buche festgestellt, die auf hohe Ozonkonzentrationen bei gleichzeitig guter Wasserversorgung zurückgeführt werden. Durch die Wasserversorgung limitierte Buchen sind dagegen vor der starken Aufnahme von Ozon ins Blattinnere und damit vor Schäden geschützt (DITTMAR et al., 2003; ELLING und DITTMAR, 2003).

Daneben wird z.B. für Thüringen vorhergesagt, dass aufgrund der zunehmenden Trockenheit einige Gebiete nicht mehr für Buche geeignet sein werden (SEILER et al., 2007). Aufgrund dieser Trockenheitssensitivität wird erwartet, dass die Buche im Wachstum und in der Konkurrenzfähigkeit besonders negativ beeinflusst wird und sie die häufigeren und längeren Trockenperioden im Sommer direkt schädigen (RENNENBERG et al., 2004). Darüber hinaus profitiert sie weniger als andere Baumarten vom ansteigenden CO₂-Gehalt, was ihre Konkurrenzkraft zusätzlich reduziert (RENNENBERG et al., 2004). So wird gefolgert, dass die Buche aufgrund des vorhergesagten Klimawandels in Süddeutschland mit einem hohen Risiko verbunden ist (RENNENBERG et al., 2004). Der Untersuchung von RENNENBERG et al. (2004) wurde allerdings durch AMMER et al. (2005) heftig widersprochen, die betonen, dass die Eig-

nung der Buche trotz Klimawandel bestehen bleibt und derzeitige Ansichten nicht in Frage gestellt werden müssen.

Zwar treten bei der Buche kaum Massenvermehrungen von Schadorganismen auf, jedoch leidet sie an einer Komplexkrankheit unter besonderer Beteiligung von Rindenpilzen (KÖLLING et al., 2005). Diese periodisch wiederkehrende Krankheit (Buchenrindennekrose oder Buchenkomplexkrankheit) trat ab Sommer 2000 von den Ardennen bis ins Sauerland teilweise sehr massiv auf, so dass bis zu 70 % der Bäume eines Bestandes geschädigt waren (EISENBARTH et al., 2001; WILHELM et al., 2001; EISENBARTH, 2001). Diese befallenen Bäume brechen oft innerhalb weniger Jahre zusammen (EISENBARTH et al., 2001), während Fäule und Insektenbefall zu einer starken Holzentwertung führen (WILHELM et al., 2001). So fielen in Belgien innerhalb einer Einschlagssaison 250.000 fm Schadholz an (EISENBARTH et al., 2001), was zwischen $\frac{1}{3}$ und dem gesamten Buchenjahreseinschlag der Bayerischen Staatsforstverwaltung seit 1990 entspricht (Bayerische Staatsforstverwaltung, 2004). Durch den Klimawandel mit zunehmend milderem und niederschlagsreicheren Wintern und gleichzeitig zunehmenden Extremtemperaturen im Sommer wird eine Zunahme dieser Erkrankungswellen bei der Buche erwartet (NIESAR et al., 2007).

Eine weitere Gefahr für die Buche könnte der Befall durch Phytophthora darstellen (KÖLLING et al., 2005). Sowohl das Wurzelsystem als auch die Stammrinde der Buche zeigen eine deutlich größere Anfälligkeit gegenüber Phytophthora als bei der Eiche (JUNG, 2005). Besonders begünstigend für einen Befall wirken sich z.B. milde feuchte Winter, Häufung von Starkregenereignissen, ein Wechsel zwischen Trockenheit und Regenperioden, sowie eine anderweitig erfolgte Schwächung der Wirtspflanze aus (HARTMANN und BLANK, 1998; JUNG, 2004; 2005). Allerdings werden gerade diese Bedingungen im Zuge des Klimawandels in verstärktem Maße erwartet. Das Schadbild befallener Buchen ähnelt teilweise der Buchen-Komplexkrankheit, wobei die Erkrankung auf einem weiten Standortspektrum möglich ist (JUNG, 2004; 2005). Durch einen Befall mit Phytophthora können sich Buchenbestände in Teilen oder flächig auflösen (HARTMANN et al., 2005). Da die Phytophthora-Arten in Baumschulbereich weit verbreitet zu sein scheinen, wäre dadurch der Umbau von Fichtenbeständen in stabile Mischbestände gefährdet (JUNG, 2005; HARTMANN et al., 2005).

Eiche

Die Einschätzungen zur Eiche im Kontext des Klimawandels sind ziemlich einheitlich. Es wird davon ausgegangen, dass sie relativ gut mit den prognostizierten Veränderungen zurecht kommt (z.B. FABIAN und MENZEL, 1998; VON LÜPKE, 2004; KÖLLING et al., 2005; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007). Auch die Klimahüllenmodelle zeigen eine zunehmende Übereinstimmung zwischen der ökologischen Nische der Eiche und den zukünftigen Klimaverhältnissen (z.B. KÖLLING, 2007; KÖLLING und ZIMMERMANN, 2007; SEILER et al., 2007). Daneben gilt die Eiche als gut an Trockenheit angepasst, weshalb sie verstärkt empfohlen wird (z.B. WAGNER, 2004; RENNENBERG et al., 2004), nicht zuletzt da sie im Gegensatz zur Buche in Trockenjahren nur geringe Zuwachsrückgänge verzeichnet (BONN, 2000). Die Trockenheitstoleranz zeigt sich auch daran, dass die Eichenwaldgesellschaften vorwiegend in warmen und trockeneren Gebieten vertreten sind (z.B. FABIAN und MENZEL, 1998; BORCHERT und KÖLLING, 2003; WALENTOWSKI et al., 2007). Folglich wird vorhergesagt, dass der Anteil dieser Gesellschaften an der potentiellen natürlichen Vegetation zunehmen wird (LEXER und

SEIDL, 2007). Daneben wird die Anpassung der Eiche an die ebenfalls verstärkt auftretenden Waldbrände und Stürme als gut eingestuft (VON LÜPKE, 2004).

Allerdings sind zukünftig auch bei der Eiche vermehrt Insektenschäden zu erwarten, wie HANKE (2005) am Beispiel des Zweipunkt-Eichenprachtkäfers in Rheinland-Pfalz darstellt, der noch vor etwa 10 Jahren forstlich unbedeutend, ja praktisch unbekannt war. Besonders anfällig sind hierbei vorgeschädigte Eichen, die nach den Klimavorhersagen zukünftig häufiger vorkommen werden. Ein weiterer unkalkulierbarer Faktor ist die Weiterentwicklung von Eichenkomplexerkrankungen unter Beteiligung von Phytophthora. So spielen Phytophthorabefall und die so verursachten Wurzelschäden eine entscheidende Rolle im Krankheitsverlauf des „Eichensterbens“ (JUNG et al., 1996; 2000) wodurch auch alte Eichen in kurzer Zeit absterben können (JUNG et al., 1996). Durch diese Schädigungen wird die Eiche ebenfalls für den Befall durch Sekundärparasiten wie den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer und Hallimasch prädisponiert (JUNG et al., 1996). Allerdings ist Phytophthora kein neuer Schädling, weshalb vermutet wird, dass Umweltveränderungen das Gleichgewicht zu Ungunsten der Eiche verschoben haben (JUNG et al., 1996). Es spricht einiges dafür, dass besonders milde und feuchte Winter und die Verschiebung von Niederschlägen vom Sommer in den Winter Schäden an Eichen durch Phytophthora begünstigen (JUNG et al., 1996; 2000), was allerdings genau den für den Klimawandel prognostizierten Veränderungen entspricht.

4.3.3.3 Abgeleitete Überlebenswahrscheinlichkeiten

Zunächst wird für das Risikomodell mit vergrößerten Naturgefahren unterstellt, dass in den ersten 5 Jahren 10 % aller Kulturen ausfallen. Diese jungen, frisch gepflanzten Bestände sind gegenüber ausbleibenden Niederschlägen, wie sie für die Sommermonate ab Mai prognostiziert werden (z.B. KÖLLING, 2008), besonders anfällig. Hierbei wurde kein Unterschied zwischen den Baumarten gemacht. Gleichzeitig wurden für über fünfjährige Bestände die mit Formel 6 berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten jeder Fünfjahresperiode um 50 % erhöht. Bei der Fichte erfolgte dies basierend auf dem Modell für hohes Risiko (BEINHOFER, 2007b; 2008b). Nachdem im normalen Risikomodell für Fichte die Funktion für mittleres Risiko (BEINHOFER, 2007b; 2008b) Verwendung fand, verringern sich die Überlebenswahrscheinlichkeiten dieser Baumart überproportional. Dies stimmt mit den Einschätzungen vieler Studien im Kontext des Klimawandels überein, die die besondere Betroffenheit der Fichte herausstellen (vgl. Kapitel 4.3.3.2). Hierbei sei betont, dass die quantitative Steigerung der Ausfallwahrscheinlichkeiten keine Prognose für die Zeiten des Klimawandels ist, sondern lediglich dazu dienen soll, die Auswirkungen steigender Kalamitätsgefahren auf finanziell optimierte Portfolios darzustellen. Die unterschiedliche Exposition der einzelnen Baumarten gegenüber den zu erwartenden Veränderungen wird dabei berücksichtigt.

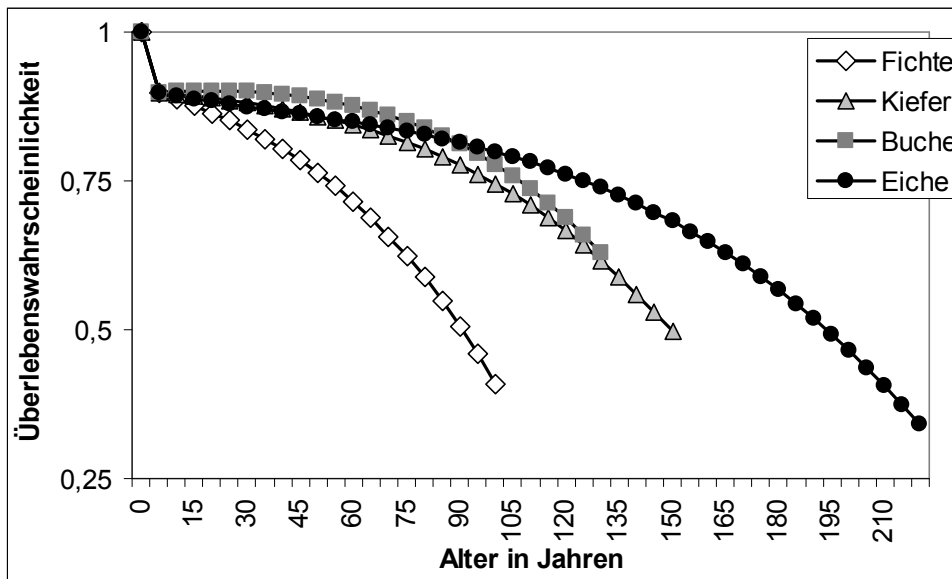


Abbildung 6 Entwicklung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der Baumarten im Risikomodell mit vergrößerten Naturgefahren

Diese Veränderungen bewirken, dass bei gleichem Alter die Überlebenswahrscheinlichkeiten deutlich geringer sind (vgl. Abbildung 6). Betrachtet man stets das Umtriebszeitalter, wird die Überlebenswahrscheinlichkeit bei Fichte mit 28 Prozentpunkten mit Abstand am deutlichsten reduziert. Die Überlebenswahrscheinlichkeiten von Eiche und Kiefer sinken um 19 bzw. 18 Prozentpunkte. Am wenigsten verringern sich die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Buche mit 15 Prozentpunkten. Dies stimmt mit aktuellen Untersuchungen überein, die die geringe Anfälligkeit der Buche gegenüber dem Klimawandel betonen (vgl. Kapitel 4.3.3.2). Gleichzeitig sinken die Überlebenswahrscheinlichkeiten schon früher auf bestimmte Niveaus ab. So wird hier die oben dargestellte Überlebenswahrscheinlichkeit von 75 % von Fichte schon mit gut 50 Jahren erreicht und damit 40 Jahre früher als im normalen Risikomodell. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Kiefer sinkt schon im Alter 100, also 35 Jahre früher auf diesen Wert ab, den die Buche erstmals überhaupt im Alter von 110 Jahren erreicht. Die Eiche unterschreitet in diesem Szenario diese Marke schon im Alter von 125 Jahren und damit 50 Jahre früher (vgl. Abbildung 6).

Tabelle 17 Funktionen zur Bestimmung der altersabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeiten (für Alter $A \geq 5$ Jahre) im Risikomodell mit vergrößerten Kalamitätsrisiken

Baumart	Funktion zur Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit
Fichte	$\ddot{U}(A) = -2,427 \cdot 10^{-07} \cdot (A^3) - 5,898 \cdot 10^{-06} \cdot (A^2) - 1,979 \cdot 10^{-03} \cdot \text{Alter} + 0,908$
Kiefer	$\ddot{U}(A) = -8,793 \cdot 10^{-08} \cdot (A^3) - 8,079 \cdot 10^{-07} \cdot (A^2) - 6,025 \cdot 10^{-04} \cdot A + 0,902$
Buche	$\ddot{U}(A) = -1,113 \cdot 10^{-07} \cdot (A^3) - 3,287 \cdot 10^{-06} \cdot (A^2) + 2,407 \cdot 10^{-04} \cdot A + 0,898$
Eiche	$\ddot{U}(A) = -5,628 \cdot 10^{-08} \cdot (A^3) + 5,344 \cdot 10^{-06} \cdot (A^2) - 1,003 \cdot 10^{-03} \cdot A + 0,902$

Aus den reduzierten Überlebenswahrscheinlichkeiten wurden neue Regressionsfunktionen für die Verwendung in der Monte-Carlo-Simulation ermittelt (vgl. Tabelle 17). Die angegebenen Funktionen galten allerdings nur für über fünfjährige Bestände, jüngeren Beständen wurde direkt mit 10-prozentiger Wahrscheinlichkeit ein sofortiger Ausfall zugeordnet. Auch die nach Bestandesausfällen nötige erneute Kulturbegründung unterlag dieser Gefahr.

4.4 Portfoliooptimierung

4.4.1 Die Portfoliotheorie

Die Betrachtung von Diversifikationseffekten durch die Produktion unterschiedlicher Baumarten und Sortimente erfolgte mit Hilfe der Portfoliotheorie. Dabei versteht man unter einem Portfolio eine Zusammenstellung bzw. Mischung von Vermögensgegenständen. Ziel der Portfoliotheorie ist die Bestimmung einer effizienten Mischung der verschiedenen Geldanlagen bzw. Vermögensgegenstände (WEBER, 2002; LEITNER, 2008). Entwickelt wurde diese Theorie von HARRY MARKOWITZ (1952), der dafür den Nobelpreis erhielt (KNOKE und HAHN, 2007). Er wendete hierfür vorhandene mathematische Zusammenhänge auf Fragen des Finanzmarktes an (MANDELBROT und HUDSON, 2005). SHARPE (1964) entwickelte dann die Portfolio-Theorie unter Berücksichtigung der Gesetzmäßigkeiten des Kapitalmarktes zum „Capital Asset Pricing Model“ (CAPM) weiter. Der von SHARPE (1964) abgeleitete β -Index ist ein Maß für die Korrelation zwischen den Erträgen einer einzelnen Geldanlage und denen des Marktportfolios.

Für die Auswahl der Bestandteile eines Portfolios spielt es eine große Rolle, wie sich die Erträge der Bestandteile zueinander verhalten, was im Folgenden an einem Beispiel veranschaulicht werden soll (BEINHOFER und KNOKE, 2007b). Zur Quantifizierung der Abhängigkeit der Ertragsschwankungen zweier Investitionen eignet sich die Kovarianz bzw. der Korrelationskoeffizient. Die so genannte Korrelation der Ertragsschwankungen verschiedener Investitionen ist wichtiger als die bloße Anzahl der beteiligten Mischungskomponenten oder die tatsächliche Höhe der Risiken (z.B. KNOKE und HAHN, 2007).

- Kombiniert man die Investition in einen Fichtenwald mit der Investition in Solarzellen zur Stromerzeugung, ist es wahrscheinlich, dass sich die Erträge dieser Investition sehr unterschiedlich entwickeln. In Jahren mit strahlungsreichen, wolkenarmen Sommern können mit Solarzellen aufgrund fester Strompreise sehr hohe Erträge erzielt werden. Gleichzeitig ist in solchen Sommern mit Borkenkäferkalamitäten zu rechnen, so dass die Fichtenholzpreise einbrechen und die Erträge aus dem Fichtenwald gering ausfallen. Dagegen liefern Solarzellen in verregneten Sommern geringe Erträge, wohingegen in diesem Fall das Ausbleiben größerer Käferholzmengen starke Preisreduktionen verhindert, so dass die Erträge aus dem Fichtenwald höher ausfallen. Folglich ist die Ertragsentwicklung der beiden Investitionen negativ korreliert, was bei Mischung beider Geldanlagen zu einer deutlichen Reduktion des Risikos, dargestellt über die Standardabweichung, führt. Bei komplett negativ korrelierten Anlagen gibt es eine Mischung (vgl. Punkt B in Abbildung 7) mit einem Risiko von fast Null. Lediglich in Ausnahmefällen, bei identischem Risiko der beiden Anlagen und hälftiger Mischung, kann das Risiko tatsächlich den Wert Null erreichen, was konstante Erträge bedeuten würde. Dabei sind alle Mischungen auf der Linie links von Punkt B ineffizient, da es Mischungen mit gleichem Risiko und höherem Ertrag rechts von Punkt B gibt.
- In einem zweiten Fall investiert man in Solarzellen zur Stromerzeugung und in eine Windkraftanlage. Für den erzeugten Strom erhält man jeweils einen festen Preis. Wiederum liefern die Solarzellen in sonnigen Jahren den höchsten Ertrag, während für die Er-

träge der Windkraftanlage lediglich die Windverhältnisse eines Jahres eine Rolle spielen. Dabei kann Wind sowohl bei sonnigem, als auch bei regnerischem Wetter auftreten. Die Erträge dieser Investition entwickeln sich folglich unabhängig voneinander, sind also nicht korreliert ($k = 0$). Auch aus der zufällig verschiedenen Entwicklung der Erträge resultiert eine Risikosenkung durch Mischung, wenngleich sie nicht so ausgeprägt ist wie bei negativer Korrelation. Bei unkorrelierten Anlagen gibt es ebenfalls eine Mischung mit minimalem Risiko (vgl. Punkt A in Abbildung 7), wobei wiederum alle Mischungen auf der Linie links des Punktes A ineffizient sind.

- Als dritte Variante sollen Investitionen in Solarzellen zur Stromerzeugung und in Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitung dienen. In sonnigen Jahren werden beide Anlagen gute Erträge liefern. Dagegen werden die Erträge bei beiden Mischungskomponenten in verregneten Jahren geringer ausfallen. In diesem Fall vollständig positiver Korrelation ($k = +1$) der Erträge ergeben sich keine risikosenkenden Effekte durch die Mischung. Risiko und Ertrag verändern sich proportional zum Anteil der risikoreichen Anlage (vgl. Abbildung 7).

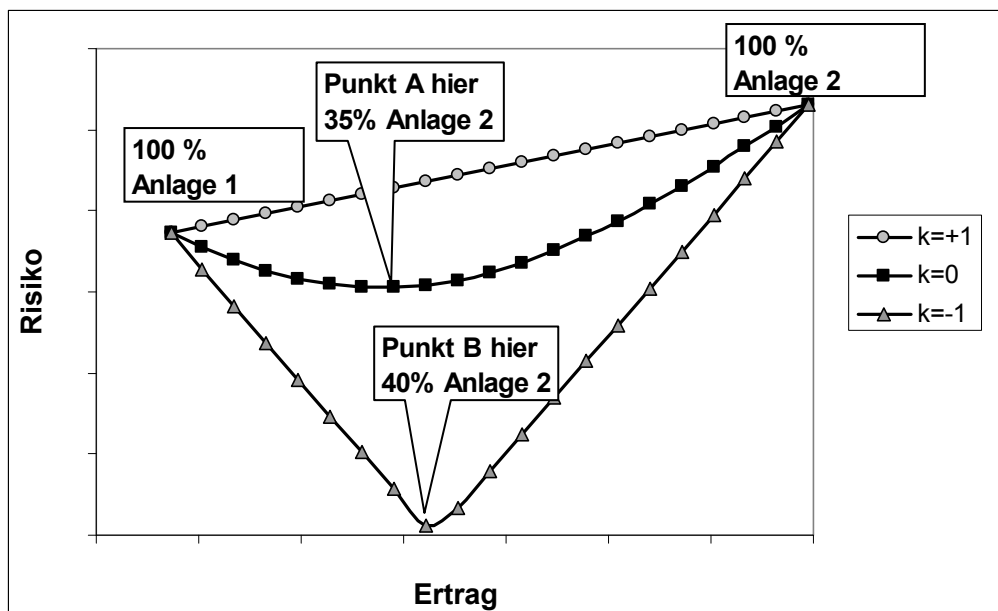


Abbildung 7 Risiko-Ertrags-Diagramm bei unterschiedlicher Korrelation der Erträge der Mischungskomponenten (BEINHOFER und KNOKE, 2007b)

Auf den Linien zwischen der Investition mit geringstem und höchstem Ertrag liegen stets die effizienten Portfolios, was bedeutet, dass sie für einen bestimmten Ertrag das geringste Risiko liefern. Die Senkung des Risikos bei identischem Ertrag bzw. die Ertragssteigerung bei identischem Risiko durch Investition in eine Mischung aus verschiedenen Geldanlagen wird Diversifikationseffekt genannt (KNOKE et al., 2005).

Die Erträge eines Portfolios, bestehend aus mehreren Komponenten berechnen sich wie folgt (MARKOWITZ, 1952; KNOKE et al., 2005):

$$E_{Po} = \sum_{i=1}^N a_i * E_i \quad \text{wobei: } \sum_{i=1}^N a_i = 1 \quad \text{Formel 7}$$

Dabei ist E_{Po} der Ertrag des Portfolios, bestehend aus unterschiedlichen Geldanlagen. Mit a_i wird der Anteil einer Investition bezeichnet, wobei insgesamt N Geldanlagen gemischt werden. Zusammen müssen die Anteile a_1 bis a_N stets eins bzw. 100 % ergeben. E_i bezeichnet den Ertrag der entsprechenden Mischungskomponente. Um die Standardabweichung des Ertrags einer Investition in eine Mischung aus den verschiedenen Einzelinvestitionen zu berechnen, wird folgende Gleichung verwendet (MARKOWITZ, 1952; KNOKE und SEIFERT, 2008):

$$s_{Po} = \sqrt{\sum_{i \in Po} a_i^2 * s_i^2 + 2 * \sum_{i \in Po} \sum_{\substack{j \in Po \\ j > i}} a_i * a_j * s_i * s_j * k_{ij}} \quad \text{Formel 8}$$

Dabei bezeichnet s_{Po} die Standardabweichung des Ertrags eines Portfolios und s_i die Standardabweichung einer Mischungskomponente. Der Korrelationskoeffizient der Erträge von jeweils zwei Mischungskomponenten wird mit k_{ij} abgekürzt. Diese beiden Beziehungen bilden den Kern der klassischen Portfoliotheorie, die allerdings davon ausgeht, dass die Ergebnisse normalverteilt sind (MANDELBROT und HUDSON, 2005).

Die aus dem Finanzwesen stammende Portfoliotheorie wurde in dieser Studie verwendet, um vorteilhafte Anteile verschiedener Bestände zu ermitteln. Hierzu ist es allerdings nötig lange Betrachtungszeiträume zu analysieren. Dabei werden die unterschiedlichen Bestände wie alternative Geldanlagen betrachtet. Die genannten Formeln 7 und 8 wurden zur Portfoliooptimierung nach den klassischen Ansätzen verwendet. Für die Optimierung nach den Downside-Risikomaßen (vgl. Kapitel 4.4.2.2) wurde hingegen nur Formel 7 verwendet, um die Annuitäten eines Portfolios in Abhängigkeit von den beteiligten Beständen zu ermitteln. Dies erfolgte für jede der 10.000 Wiederholungen der Monte-Carlo-Simulation. Die Korrelationen der Annuitäten der verschiedenen Bestände werden dabei direkt über die je Wiederholung unterschiedlich hohen Annuitäten berücksichtigt. Anhand dieser 10.000 Annuitäten des Portfolios wurden dann die Anteile der Bestände für die verschiedenen Downside-Risikomaße optimiert. Durch dieses Vorgehen wurde auch die tatsächliche Verteilung der Annuitäten berücksichtigt und es musste keine Normalverteilung unterstellt werden.

4.4.2 Risikokennzahlen zur Portfoliooptimierung

Nachdem mit Hilfe der Portfoliotheorie von MARKOWITZ die Kennzahlen verschiedenster Portfolios berechnet werden können, geht es in einem zweiten Schritt um die Optimierung der Portfoliozusammensetzung anhand unterschiedlicher finanzieller Kennzahlen (vgl. Tabelle 18). Diese werden im Folgenden ausführlich beschrieben, da sie im Forstbereich nicht weit verbreitet sind.

Tabelle 18 Überblick über die in der Portfoliooptimierung verwendeten finanziellen Risikomaße

Klassische Ansätze	Downside-Risikomaße
Standardabweichung	Value at Risk
Risikonutzenfunktion	Expected Shortfall
	Lower Partial Moments 0., 1., 2. Ordnung

Die Grundannahme aller finanziellen Optimierungen ist, dass ein Investor rational und risikoavers ist und prinzipiell einen höheren Ertrag einem geringeren vorzieht (GOTOH und KONNO, 2000). Im Ergebniskapitel dieser Arbeit werden die erzielten Risikoreduktionen, genauso wie die Verringerung der Annuität immer in Relation zum Mischungsbestandteil mit höchster Annuität angegeben, die ein risikoneutraler Investor wählen würde.

4.4.2.1 Klassische Ansätze

Zur Portfoliooptimierung werden zunächst zwei klassische Ansätze verwendet. Zum einen wird die Standardabweichung des Portfolios als klassische Risikokennzahl (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005) minimiert, zum anderen wird mit Hilfe einer Risikonutzenfunktion das Sicherheitsäquivalent eines Portfolios maximiert.

Standardabweichung

Im klassischen Sinne wird unter Risiko die Streuung der Einzelergebnisse um den erwarteten Mittelwert verstanden. Hierbei sind die gebräuchlichsten Meßgrößen zur Quantifizierung der Volatilität und damit des Risikos, die Standardabweichung oder die quadrierte Standardabweichung, die Varianz⁸ (MANDELBROT und HUDSON, 2005). Allerdings geben MANDELBROT und HUDSON (2005) zu bedenken, dass Varianz und Standardabweichung nur gute Näherungswerte für das Risiko sind, wenn die Einflussfaktoren bzw. die Ergebnisse normalverteilt sind. Somit steht eine breitere Glockenkurve mit einer größeren Standardabweichung für weiter gestreute Ergebnisse und damit ein größeres Risiko als eine enge Glockenkurve mit weniger gestreuten Ergebnissen aber gleichem Mittelwert (z.B. JORION, 2001). Standardabweichung oder Varianz sagen allerdings nur aus, wie die Erträge gestreut sind, aber nicht, wie viel Geld man verlieren kann (DOWD, 1998). Zwar gab es schon vor MARKOWITZ den Vorschlag, die Varianz als Risikomaß zu verwenden (MANDELBROT und HUDSON, 2005), doch erhielten diese Risikomaßzahlen erst durch die praxistaugliche Portfoliotheorie von MARKOWITZ (1952) weite Verbreitung.

Auch in vielen forstökonomischen Untersuchungen wurde die Standardabweichung seither als Risikomaß verwendet (z.B. REEVES und HAIGHT, 2000; KNOKE et al., 2005; BEINHOFER 2008a). Analog zum Vorgehen bei den Downside-Risikomaßzahlen wird in vorliegender Studie auch eine Optimierung der Portfolios anhand der Standardabweichung in Form einer Risikominimierung durchgeführt.

Risikonutzenfunktionen

Eine Portfoliooptimierung durch Minimierung der Standardabweichung lässt allerdings die zweite wichtige Entscheidungsgröße, den zu erwartenden mittleren Ertrag, außer Acht. Eine Verknüpfung von mittlerem Ertrag und seiner Streuung ist mit Hilfe von Risikonutzenfunktionen, beispielsweise über Berechnung des Sicherheitsäquivalents, möglich. Das Sicherheitsäquivalent entspricht dem sicheren Betrag, den der Investor als gleichwertig mit dem unsicheren Mittelwert des Ertrags einer riskanten Investition betrachtet. Darüber hinaus ist eine Op-

⁸ Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen Standardabweichung und Varianz werden beide Begriffe im Folgenden gleichwertig für diese Art der Risikoquantifizierung verwendet. In dieser Studie wurde allerdings immer die Standardabweichung verwendet.

timierung unter Berücksichtigung der beiden Kenngrößen Erwartungswert und Streuung möglich.

Die Berechnung des Sicherheitsäquivalentes basiert auf einer exponentiellen Nutzenfunktion. Diese lässt sich mathematisch wie folgt ausdrücken (HEIDINGSFELDER und KNOKE, 2004):

$$U(Z) = 1 - e^{-\alpha * Z}$$

Formel 9

Dabei bezeichnet $U(Z)$ den Nutzen einer Zahlung Z , α ist der Krümmungsparameter der Nutzenfunktion und e die Eulersche Zahl.

Da die Mehrzahl der Menschen Risiko meidet, erkennbar an der Vielzahl von abgeschlossenen Versicherungen oder dem Investitionsverhalten der Deutschen (BEINHOFER und KNOKE, 2007c), wird im Folgenden von Risikoaversion ausgegangen. Sie bewirkt, dass das Sicherheitsäquivalent einen geringeren Wert als der unsichere Mittelwert des Ertrags (Erwartungswert) aufweist (BAMBERG und COENENBERG, 2006). Je unsicherer der zu erwartende mittlere Ertrag, also je größer die Streuung ist, desto geringer ist das Sicherheitsäquivalent. Folglich wird ein risikoproportionaler Abschlag von dem erwarteten, aber unsicheren Ertrag abgezogen, um das Sicherheitsäquivalent abzuschätzen.

Soll das Sicherheitsäquivalent eines Portfolios für einen gegebenen Ertrag (z.B. eine bestimmte Annuitätenhöhe) maximiert werden, entspricht das Ergebnis dem einer Minimierung der Standardabweichung und damit einer Minimierung des Risikoabschlags. Dies liegt darin begründet, dass in diesem Fall nur noch die Streuung variabel ist. Je kleiner sie ist, desto geringer ist natürlich auch der Risikoabschlag und desto größer ist folglich das Sicherheitsäquivalent. Bei Risikoneutralität, also wenn es für den Investor egal ist, ob der Ertrag sicher ist oder schwankt, entspricht das Sicherheitsäquivalent dem Erwartungswert (HEIDINGSFELDER und KNOKE, 2004). Die Berechnung des Sicherheitsäquivalents kann mit folgender Formel (SPREMANN, 1996; GERBER und PAFUMI, 1998) erfolgen:

$$S\ddot{A}Q = E(e) - \alpha * \frac{s_e^2}{2}$$

Formel 10

Dabei steht $S\ddot{A}Q$ für das Sicherheitsäquivalent und $E(e)$ für den Erwartungswert (Mittelwert) des Ertrags. Die Standardabweichung des Ertrags wird mit s_e bezeichnet. Der Parameter α ist ein Maß für die absolute Risikoaversion, wobei zwischen normaler und starker Risikoaversion unterschieden wird. Je größer die Risikoaversion ist, desto stärker wird die Streuung des Erwartungswertes gewichtet und desto weiter liegt folglich das Sicherheitsäquivalent unter dem Erwartungswert der unsicheren Zahlung. Dabei ist α vom Anlagebetrag abhängig und berechnet sich für normale Risikoaversion als $\alpha = 1/\text{Anlagebetrag}$ und für starke Risikoaversion als $\alpha = 2/\text{Anlagebetrag}$ (SPREMANN, 1996; DIETER, 1997). Der Term, der vom Erwartungswert abgezogen wird, stellt somit einen Risikoabschlag dar. In Optimierungen und der Bewertung von Alternativen ist die Variante mit dem höchsten Sicherheitsäquivalent vorteilhaft (z.B. BEINHOFER und KNOKE, 2007b). Für einen Variantenvergleich wird dabei stets die maximale Investitionssumme als Anlagebetrag verwendet (KNOKE et al., 2005).

In der vorliegenden Studie wurde der Mittelwert der Annuität aus den 10.000 Wiederholungen der Monte-Carlo-Simulation als Erwartungswert eingesetzt. Für forstliche Investitionen

entspricht der Anlagebetrag den Ausgaben für die Kulturbegründung. Die höchste Investitionssumme bei den hier berücksichtigten Beständen betrug 5.000 €/ha für die Begründung des Eichenbestandes. Da sich der Anlagebetrag nicht mit den unterschiedlichen Umtriebszeiten ändern darf, wurden für die Herleitung des Anlagebetrages diese Ausgaben für die Kultur als Rentenbarwert betrachtet. Daraus wurde die Rentenrate einer ewigen, jährlichen Rente bestimmt, die als jährlicher Kapitaldienst für die Kulturkosten interpretierbar ist. Auf diese Weise liegt sowohl der Erwartungswert (mittlere Annuität) als auch das Anlagekapital als pro Jahr angegebener Betrag vor. Für den Parameter α ergeben sich auf Grund dieser Annahmen folgende Werte (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19 Für die Berechnung des Sicherheitsäquivalents verwendete α -Werte (Zinssatz 2 %)

	Risikoaversion	
	normal	stark
α -Wert	0,01	0,02

4.4.2.2 Downside-Risikomaße

Im Finanzwesen werden mit dem Begriff „Risiko“ zwei unterschiedliche Dinge bezeichnet. Zum einen ist das der potentielle Verlust bzw. die Verlustgefahr (PICOULT, 2002) und zum anderen definiert die Finanztheorie Risiko als Streuung z.B. von erzielten Renditen, weshalb das Risiko oft über die Standardabweichung gemessen wird (vgl. oben). Allerdings wird kein Investor überdurchschnittliche Ergebnisse, auch wenn sie gestreut sind, als Risiko betrachten, während dagegen unterdurchschnittliche Ergebnisse als „Schaden“ und damit als Risiko aufgefasst werden.

Dies entspricht dem Grundgedanken der Downside-Risikomaße, wonach die linke Seite der Ergebnisverteilung das Risiko abdeckt, während der rechte Teil die Chancen einer Investition enthält (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Entsprechend wird das Risiko als Unterschreitung einer Zielgröße (Target, z.B. eine Ziel- oder Mindestrendite) quantifiziert (MEYER, 1999). Die Downside-Risikomaße werden daher auch als asymmetrische Risikomaße bezeichnet, weil sie sich nur auf Ergebnisse beziehen, die unterhalb eines bestimmten Niveaus liegen. Da Zielwertunterschreitungen auch als Shortfall bezeichnet werden, ist daneben die Bezeichnung Shortfall-Risikomaß üblich (MEYER, 1999). Die Downside-Risikomaße sind jedoch weitaus weniger verbreitet als der traditionelle Weg über Mittelwert und Standardabweichung (DANIELSSON et al., 2008).

Die Betrachtung des Downside-Risikos hat seine Ursprünge in der Arbeit von ROY (1952) über das „Safety First“-Kriterium (CAMPBELL et al., 2001; BERTSIMAS et al., 2004). Das „Safety First“-Kriterium ist ein bekanntes Downside-Risikomaß, bei dem das Risiko über die Wahrscheinlichkeit gemessen wird, dass der Wert einer Investition unter ein zuvor festgelegtes katastrophales Niveau fällt (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Auch MARKOWITZ (1959) machte sich Gedanken über ein Downside-Risikomaß, die Semivarianz (BERTSIMAS et al., 2004; DANIELSSON et al., 2008). Er schlug sie als Erster als alternatives Risikomaß vor, das nur die Streuung der Erträge unterhalb des Mittelwertes misst (z.B. GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; GOTOH und KONNO, 2000; MAZZOLENI, 2004), um damit die Standardabweichung zu ersetzen (LEITNER, 2008). MARKOWITZ konzentrierte sich dann aber auf die

Varianz, da diese mathematisch leichter handhabbar ist (ATWOOD, 1985; BROGAN und STIDHAM, 2005).

Der Hauptbeitrag zu den Downside-Risikomaßen war die Einführung und Analyse der Lower Partial Moments. Diese Risikokennzahlen gehen auf BAWA (1975; 1978) sowie BAWA und LINDENBERG (1977) zurück (z.B. GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; BERTSIMAS et al., 2004; MAZZOLENI, 2004), die deren Minimierung als Alternative zur Varianz bei der Portfoliooptimierung vorschlugen. Unabhängig davon führte gleichzeitig auch JEAN (1975) diesen Ansatz in die Finanzwissenschaft ein (UNSER, 2000). Daneben wird ebenso STONE (1973) zugeschrieben, die Lower Partial Moments als Risikomaße eingeführt zu haben (LEITNER, 2008). FISHBURN (1977) entwickelte dann eine generelle Theorie des Downside-Risikos und brachte diese Theorie in Einklang mit dem Ansatz der Stochastischen Dominanz und der Nutzentheorie (EFTEKHARI, 1998; MAZZOLENI, 2004). Auch BAWA (1975; 1978) zeigte eine starke Beziehung zwischen den Lower Partial Moments und dem Konzept der Stochastischen Dominanz auf (MAURER und REINER, 2002).⁹ Später entwickelten z.B. HARLOW und RAO (1989) diese Theorie weiter in Richtung eines Mean-Lower Partial Moments Ansatz als generellere Methode zur Bewertung risikobehafteter Wertpapiere, die frühere Ansätze wie das CAPM und andere Risikomaße wie die Varianz oder die Semivarianz als Spezialfälle einschließt (OLMO, 2007).

Eine starke Zunahme des Interesses an Downside-Risikomaßen wurde durch die Anerkennung des Value at Risk in den Basel-Richtlinien und Untersuchungen zum Risikoempfinden von Investoren verursacht (DANIELSSON et al., 2008). Auch die Lower Partial Moments erweckten erneut Interesse und ihre Popularität steigt weiter an (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; UNSER, 2000). Für die Lower Partial Moments gilt, wie für den Value at Risk, dass sie die Präferenzen und Sorgen von Investoren besser abbilden als die traditionell verwendete Varianz (PERSSON, 2000; CAMPBELL et al., 2001; BROGAN und STIDHAM, 2005).

Im Folgenden sollen die verschiedenen hier betrachteten Downside-Risikomodelle einzeln vorgestellt werden. Dies sind zunächst die quantilbasierten Risikomaße Value at Risk (VaR) und der Expected Shortfall. Anschließend werden die Downside-Wahrscheinlichkeit (LPM_0), der Downside-Erwartungswert (LPM_1) und die Downside-Varianz (LPM_2) präsentiert. In der Optimierung wird bei den Downside-Risikomaßen stets das risikominimale Portfolio, analog zum Vorgehen bei der Betrachtung der Standardabweichung, bestimmt.

4.4.2.2.1 Quantilbasierte Downside-Risikomaße

Value at Risk

In den späten 1970er und 1980er Jahren begannen vornehmlich amerikanische Banken an Modellen zu arbeiten, mit denen das Risiko der gesamten Institution darstellt werden konnte (DOWD, 1998). Dabei sind besonders J.P. Morgan und Bankers Trust zu nennen. Sie entwickelten damals das heute oft als neu bezeichnete Konzept des Value at Risk (VaR) (MEYER, 1999) für ihr Risikomanagement, zur Unterstützung ihrer Managementberater und um es an Kunden zu verkaufen (DOWD, 1998). Anfang der 1990er Jahre wurde dieser Ansatz einer

⁹ Auf die Zusammenhänge mit anderen Risikomeßzahlen und besonders die Stochastische Dominanz wird in der Diskussion (vgl. Kapitel 6.3.4.3) ausführlich eingegangen.

breiteren Fachwelt bekannt (JORION, 2001; RAU-BREDOW, 2001), wozu auch die Veröffentlichung des Computerprogramms „RiskMetrics“ im Jahre 1994 durch J.P. Morgan beitrug (DOWD, 1998).

Seither werden VaR-Modelle von Banken zur Messung und Kontrolle des Risikos verwendet (GOURIEROUX et al., 2000) und inzwischen auch von großen Industrieunternehmen zur Quantifizierung der finanziellen Risiken eingesetzt (RAU-BREDOW, 2002a). Daneben wird der VaR zur Ermittlung des Eigenkapitalunterlegungsbedarfs für von Banken eingegangene Risiken verwendet (BÜHLER et al., 1998; TASCHE, 2000; JANSEN et al., 2000; RAU-BREDOW, 2001). Das wurde von den Aufsichtsbehörden begünstigt, als mit der Umsetzung der Kapitaladäquanzrichtlinie (Basel II) diese Modelle hierfür erlaubt wurden (TASCHE, 2000; CAMPBELL et al., 2001; KIESEL et al., 2002; EMMER, 2002). Der VaR-Ansatz ist somit heute weit verbreitet und gilt als „state of the art“ (MEYER, 1999; EMMER, 2002).

Als Synonyme zu „Value at Risk“ werden auch „Money at Risk“, „Capital at Risk“ oder „Risikoäquivalent“ verwendet (MEYER, 1999). Der VaR ist eine einfache statistische Risikokennzahl zur Quantifizierung des Verlustpotentials von einzelnen Anlagen, Portfolios oder ganzen Unternehmen (MEYER, 1999), wobei Diversifikationseffekte berücksichtigt werden (JORION, 2001). Definiert ist der VaR als die in Geldeinheiten angegebene absolute Wertänderung einer Betrachtungseinheit, z.B. eines Portfolios, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit innerhalb eines festgelegten Zeithorizonts nicht unterschritten wird (BÜHLER et al., 1998; DOWD, 1998; MEYER, 1999; SRIVASTAVA, 1999; RAU-BREDOW, 2001; 2002a; SMITH, 2002; CHOUDHRY, 2006). Somit stellt der VaR einen Schwellenwert dar und entspricht aus statistischer Sicht dem α -Quantil der ex ante geschätzten oder ex post beobachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung von Wertveränderungen der betrachteten Investitionen (BÜHLER et al., 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; RAU-BREDOW, 2002b). Die Investition oder das Portfolio mit dem höchsten Schwellenwert (VaR) ist dabei vorteilhaft.

Das Konzept des VaR enthält somit zwei normativ vorgegebene Parameter, den Betrachtungszeitraum und das Konfidenzniveau (DOWD, 1998; MEYER, 1999). Der Betrachtungszeitraum hängt vom analysierten Objekt ab und beträgt im Wertpapierhandel 1-10 Tage, bei Krediten hingegen mehrere Jahre (KIESEL et al., 2002). Der Zeithorizont hat auch Einfluss auf die Höhe des VaR, denn eine längere Periode birgt größere Risiken. Eine theoretisch fundierte Hilfestellung zur Wahl des Konfidenzniveaus fehlt weitgehend. Es besteht jedoch Konsens, dass Konfidenzniveaus von mindestens 95 % sachgerecht sind, während die Bankenaufsicht meist 99 % vorgibt (BÜHLER et al., 1998; MEYER, 1999; SRIVASTAVA, 1999; CAMPBELL et al., 2001; RAU-BREDOW, 2001; 2002a; SMITH, 2002). Aufgrund der hohen betrachteten Konfidenzniveaus stellt dies eine „fast“ worst-case Betrachtung dar (MEYER, 1999). Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass der mit dem VaR angegebene Wert keine Prognose über die absolute Höhe der aufgetretenen Verluste darstellt. Vielmehr gibt er eine Schwelle an, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 1-Konfidenzniveau unterschritten wird (MEYER, 1999).

Grundsätzlich gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, um den VaR zu bestimmen: die parametrische Ermittlung und die Verfahren auf Basis von Simulationen. Die „parametrischen Verfahren“ zur VaR-Ermittlung werden auch „Korrelations-“, „Varianz-Kovarianz-“ oder „analytische Verfahren“ genannt (MEYER, 1999; CHOUDHRY, 2006). Die Bezeichnung „parametrische Verfahren“ leitet sich davon ab, dass Parameter wie die Standardabweichung zur

Berechnung verwendet werden und der VaR nicht als Quantil aus einer empirischen Verteilung abgelesen wird (JORION, 2001).

Unter den vereinfachenden Annahmen des parametrischen Ansatzes genügen der Erwartungswert (Mittelwert) und das Risiko (Standardabweichung) zur Bestimmung des VaR. Mit den Formeln von MARKOWITZ können diese Kennwerte auch für Portfolios berechnet und daraus der VaR abgeleitet werden. Die VaRs der einzelnen Bestandteile können darüber hinaus auch direkt über die Formel für die Standardabweichung eines Portfolios zu einem Portfolio-VaR verrechnet werden (DOWD, 1998; MEYER, 1999). Für die parametrische Ermittlung des VaR wird die Standardabweichung mit einem vom jeweiligen Konfidenzniveau abhängigen Wert z multipliziert und dieses Produkt wird vom Erwartungswert (Mittelwert) subtrahiert. Der Wert des Faktors z beträgt bei einem Konfidenzniveau von 99 % 2,33, für eine Wahrscheinlichkeit von 97,5 % 1,96 und für ein Konfidenzniveau von 95 % 1,65 (z.B. DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; RAU-BREDOW, 2001; 2002a,b). Wird als Verteilungsfunktion, wie in der Praxis weit verbreitet, eine Normalverteilung unterstellt (DOWD, 1998; MEYER, 1999; SMITH, 2002), ist die VaR-Schätzung somit sehr einfach.

Insgesamt spricht für die parametrischen Ansätze weniger die theoretische Fundierung oder die zu erwartende Schätzgüte, als die Einfachheit und Schnelligkeit der Berechnung (MEYER, 1999). Bei unterstellter Normalverteilung können zudem die VaRs verschiedener Konfidenzniveaus ineinander umgerechnet (DOWD, 1998) und an andere Zeithorizonte angepasst werden. Dabei wird unterstellt, dass die Portfoliozusammensetzung konstant ist und die Renditen unabhängig und identisch verteilt sind (JORION, 2001).

Ob der parametrische Ansatz geeignet ist, hängt entscheidend davon ab, ob die Erträge des Portfolios normalverteilt sind. Empirische Untersuchungen und Ergebnisse neuerer Kapitalmarktforschung zeigen jedoch, dass die Normalverteilungshypothese oft nicht zutrifft (z.B. DOWD, 1998; MEYER, 1999; MANDELBROT und HUDSON, 2005). Besonders Extremereignisse und damit große Verluste treten häufiger auf und sind größer, als bei einer Normalverteilung zu erwarten (DOWD, 1998; MANDELBROT und HUDSON, 2005). Dies ist besonders schlecht, da der VaR das Verhalten der Portfolios in genau diesen Fällen betrachtet. Das wahre Risiko wird folglich unterschätzt. Die Schätzfehler aufgrund der empirisch beobachteten Abweichungen von der Normalverteilung dürften umso geringer ausfallen, je niedriger das angegebene Konfidenzniveau ist, so dass hohe Konfidenzniveaus kritisch zu sehen sind. Kann keine Normalverteilung der Erträge oder Renditen unterstellt werden, darf diese einfache Form der Berechnung des VaR nicht oder nicht ohne weiteres verwendet werden (MEYER, 1999).

Eine sehr flexible Alternative stellen Simulationsverfahren dar (BÜHLER et al., 1998; DOWD, 1998; RAU-BREDOW, 2001). Diese „nichtparametrischen“, „numerischen“ oder „simulativen Verfahren“ verzichten auf die Unterstellung einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Ermittlung des VaR. Vielmehr wird die entscheidungsrelevante Ergebnisverteilung direkt ermittelt und daraus der VaR bzw. das gesuchte α -Quantil abgeleitet (MEYER, 1999). Nichtparametrische Verfahren ermöglichen bei Nichtvorliegen von Normalverteilungen eine bessere Risikoabschätzung als parametrische Verfahren, beinhalten aber teilweise erhebliche Modellrisiken (MEYER, 1999). Zu den nichtparametrischen Verfahren zählen die historische Simulation (vgl. Kapitel 4.3.2.1) und die Monte-Carlo-Simulation (vgl. Kapitel 4.2.1). Genau

genommen werden mit diesen Verfahren allerdings nur die Ergebnisverteilungen ermittelt, aus denen dann das α -Quantil abgeleitet wird.

In der Forstwissenschaft wurden Portfoliooptimierungen mit dem VaR bisher beispielsweise von BEINHOFER (2009b) durchgeführt. Auch REEVES und HAIGHT (2000) geben parametrisch ermittelte Quantile des Einkommens aus unterschiedlichen Portfolios für Konfidenzniveaus von 95 % und 99 % an. Die parametrische Art der Berechnung des VaR wurde in der vorliegenden Arbeit nur exemplarisch durchgeführt, um die Unterschiede zur simulationsbasierten Ermittlung darzustellen und um ableiten zu können, ob der parametrische Ansatz für forstliche Fragestellungen verwendet werden kann. Ansonsten wurden alle VaR-Berechnungen direkt an den in der Monte-Carlo-Simulation ermittelten Ergebnisverteilungen durchgeführt.

Expected Shortfall

Eine den VaR ergänzende Maßzahl ist der Expected Shortfall, der eine Variante des Downside-Erwartungswertes darstellt und auch als „Tail conditional expectation“, „Conditional loss“, „Tail loss“, „Conditional expected loss“ oder „Expected tail loss“ bezeichnet wird (DOWD, 1998; SRIVASTAVA, 1999; JORION, 2001). Da es sich um einen bedingten Erwartungswert handelt (erwarteter Verlust, wenn der Verlust mindestens so groß ist wie der VaR), wird er auch „bedingter“ bzw. „Conditional Value at Risk“ genannt (HENKING et al., 2006).¹⁰

Der Expected Shortfall ist definiert als der Durchschnitt aller Verluste, die den VaR überschreiten und ist damit der Durchschnitt der schlechtesten x % der Ergebnisse. Er stellt so eine gute Ergänzung zum VaR dar, berücksichtigt er doch auch die Verlusthöhe, und kann damit als dessen Weiterentwicklung angesehen werden (DOWD, 1998; JORION, 2001; RAU-BREDOW, 2002b; BERTSIMAS et al., 2004; HENKING et al., 2006). Den Expected Shortfall kann man wie den VaR aus den Ergebnissen der Monte-Carlo-Simulation ermitteln (RAU-BREDOW, 2002b; HENKING et al., 2006). Der Unterschied in der Höhe des VaR und des Expected Shortfalls ermöglicht zudem eine Abschätzung wie weit die einzelnen Ergebnisse unter dem VaR liegen, wobei geringe Unterschiede vorzuziehen sind.

In einer forstlichen Untersuchung erfolgte die Anwendung des Expected Shortfalls z.B. durch BEINHOFER (2009a), der damit unterschiedliche Behandlungsvarianten für Nadelholz verglich. In der vorliegenden Studie wurde der Expected Shortfall aus den Ergebnissen der Monte-Carlo-Simulation ermittelt und damit die Portfoliozusammensetzung optimiert.

4.4.2.2 Lower Partial Moments

Diese Risikomaße messen das Downside-Risiko, indem sie die Erträge z.B. eines Portfolios unterhalb eines zuvor bestimmten festen Zielwertes betrachten (HARLOW und RAO, 1989; HOMAIFAR und GRADY, 1990; EFTEKHARI, 1998; MAURER und REINER, 2002). Erträge unterhalb dieses Zielwerts werden so als unerwünscht oder riskant, Erträge oberhalb des Zielwerts als wünschenswert angesehen. Somit ist dieses Maß näher am intuitiven Risikoverständnis als traditionelle Maßzahlen (HARLOW und RAO, 1989; MAURER und REINER, 2002). Zur Operationalisierung dieses Risikoverständnisses unter Bezugnahme auf einen geforderten Zielwert (Target) werden die Lower Partial Moments (LPM) verwendet (PODDIG et al., 2005).

¹⁰ Zu beachten ist, dass PODDIG et al. (2005) auch Lower Partial Moments der Ordnung 1 als „Expected Shortfall“ bezeichnen.

Neben der theoretischen Stichhaltigkeit haben die LPMs den Vorteil, dass die meisten anderen Risikomeßzahlen Spezialfälle dieses Ansatzes sind (UNSER, 2000).

Mathematisch lassen sich alle drei betrachteten LPMs mit Formel 11 (PODDIG et al., 2005) berechnen. Diese stellt die ex post Form dar, nachdem in dieser Arbeit die ermittelte Ergebnisverteilung nach Durchführung der Monte-Carlo-Simulation und damit quasi eine „historische“ Beobachtung analysiert wird (PODDIG et al., 2005). Die Formeln zur Berechnung der LPMs unterschiedlicher Ordnung unterscheiden sich lediglich im Exponenten n , der gleichzeitig für die Ordnung der LPMs steht. Zwar können diese Ordnungen beliebige reelle Zahlen sein, üblich sind jedoch natürliche Zahlen, wobei normalerweise die Ordnungen 0, 1 und 2 verwendet werden (PODDIG et al., 2005). Für die Downside-Wahrscheinlichkeit (LPM nullter Ordnung) ist der Exponent n gleich Null, für den Downside-Erwartungswert (LPM erster Ordnung) ist er gleich eins und für die Downside-Varianz (LPM zweiter Ordnung) gleich zwei (UNSER, 2000; PODDIG et al., 2005). Wie der Investor die Zielunterschreitungen gewichtet, wird vom Exponent bestimmt, der auch als Maß für die Risikoaversion gesehen werden kann, die mit seinem Wert ansteigt (EFTEKHARI, 1998; UNSER, 2000; MAURER und REINER, 2002; BROGAN und STIDHAM, 2005).

$$LPM_{n,\tau} = \frac{1}{T} \sum_{\substack{t=1 \\ r_t < \tau}}^T (\tau - r_t)^n \quad \text{Formel 11}$$

Dabei bezeichnet τ den geforderten Zielwert (auch „Target“; z.B. die Mindestrendite), in dieser Untersuchung die Mindestannuität, welche immer gleich Null gesetzt wurde. Gleichzeitig bedeutet ein Zielwert von Null, dass die geforderte Mindestrendite die Höhe des Kalkulationszinsfußes aufweist und genau die Fälle betrachtet werden, in denen der Investor einen Verlust erleidet, also mehr Geld investiert, als er zurück bekommt. r_t bezeichnet die Rendite (bzw. für diese Studie die Annuität) des betrachteten Investments bzw. Portfolios zum (historisch beobachteten) Zeitpunkt t , während T die Anzahl der historischen (oder simulierten) Beobachtungen ist, in diesem Fall die Gesamtzahl der Wiederholungen der Monte-Carlo-Simulation. Analog zur Minimierung der Standardabweichung werden in der Optimierung jeweils die Portfoliozusammensetzungen mit den geringsten LPMs bestimmt (BAWA, 1978; GROOTVELD und HALLERBACH, 1999).

Downside-Wahrscheinlichkeit (LPM₀)

Die Downside-Wahrscheinlichkeit (Lower Partial Moments nullter Ordnung bzw. LPM₀) erfasst die Wahrscheinlichkeit mit der das Mindestanspruchsniveau als vorab definierte Schwelle unterschritten wird (EFTEKHARI, 1998; MEYER, 1999). Allerdings wird die absolute Höhe der Zielwertunterschreitungen nicht erfasst (MEYER, 1999). Die „Downside-“, „Shortfall-“ (ALBRECHT, 2001) oder „Ausfallwahrscheinlichkeit“ (PODDIG et al., 2005) ermittelt sich z.B. als Anzahl der Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation, die den Zielwert unterschreiten, im Verhältnis zur Gesamtzahl der Wiederholungen. Somit stellt die Downside-Wahrscheinlichkeit die relative Häufigkeit der Zielwert-Unterschreitungen dar, wobei eine geringere natürlich vorteilhaft ist. Graphisch lässt sich die Downside-Wahrscheinlichkeit als Fläche unter der Ergebnisverteilung darstellen, die links vom Zielwert liegt (MEYER, 1999).

Dieser Ansatz entspricht dem „Safety First“-Kriterium nach ROY (1952) (z.B. MILEVSKY, 1999; BERTSIMAS et al., 2004; PODDIG et al., 2005). Bei Anwendung von „Safety First“-Modellen wird entweder die Wahrscheinlichkeit bestimmte Zielwerte (z.B. den risikofreien Zinssatz, vgl. MILEVSKY, 1999) nicht zu erreichen minimiert („Safety First“-Kriterium nach ROY) oder die Wahrscheinlichkeit muss unter ein zuvor festgesetztes Niveau absinken, ehe andere Ziele optimiert werden („Safety First“-Kriterium nach KATAOKA oder TELSER) (ATWOOD et al., 1988). Dabei wird nach KATAOKA das Target maximiert, was einer Optimierung nach dem VaR-Ansatz entspricht, während nach TELSER der Erwartungswert der Erträge maximiert wird (PODDIG et al., 2005). Somit bestimmt beim „Safety First“-Ansatz die Wahrscheinlichkeit feste Zielgrößen nicht zu erreichen, das Vorgehen und die Wahl von Alternativen (ATWOOD, 1985).

Die Downside-Wahrscheinlichkeit (LPM_0) kann je nach Höhe des gewählten Zielwerts in drei Varianten aufgliedert werden (MEYER, 1999): Eine erste Variante stellt die Verlustwahrscheinlichkeit dar (z.B. HARLOW und RAO, 1989; MEYER, 1999), bei der das Mindestanspruchsniveau der Grenze zwischen Verlust und Gewinn entspricht. Bei Betrachtung der Rendite kann bei der Verlustwahrscheinlichkeit zwischen Zielwerten in Höhe von 0 % als Forderung nach nominalem Kapitalerhalt oder in Höhe der erwarteten Inflationsrate beim Ziel eines realen Werterhalts unterschieden werden (PODDIG et al., 2005). Daneben steht die Ruinwahrscheinlichkeit (HARLOW und RAO, 1989; MEYER, 1999), bei der die Fälle betrachtet werden, in denen die Grenze eines die wirtschaftliche Existenz gefährdenden Verlusts unterschritten wird. Als dritter Fall existiert die Ausfall- oder Shortfall-Wahrscheinlichkeit, welche die Wahrscheinlichkeit des Unterschreitens eines subjektiv festgelegten Zielwerts bezeichnet (MEYER, 1999). Diese wenden beispielsweise RAMIREZ et al. (2001) in einer Untersuchung von Agroforstwirtschaftssystemen auf Basis der Portfoliotheorie an. Daneben kann der risikofreie oder garantierte Zinssatz als Mindestrenditeforderung verwendet werden, ebenso wie der Erwartungswert (PODDIG et al., 2005). Die Höhe dieses Zielwerts hängt dabei vom einzelnen Investor ab (LEE und RAO, 1988).

Für die Ermittlung der Downside-Wahrscheinlichkeit (LPM_0) wird das Mindestanspruchsniveau festgelegt und die Wahrscheinlichkeit der Unterschreitung festgestellt. Im Gegensatz dazu steht beim VaR als α -Quantil die Downside-Wahrscheinlichkeit über das gewählte Konfidenzniveau fest und der dazu passende Zielwert wird bestimmt. Die Downside-Wahrscheinlichkeit und der VaR stehen somit in einem inversen Verhältnis und können in eine direkte Beziehung gebracht werden (MEYER, 1999). Diese Beziehung lautet wie folgt: $LPM_0 = F(\text{VaR})$, wobei F die Verteilungsfunktion der Ertragsverteilung ist (UNSER, 2000).

Die Verlustwahrscheinlichkeit hat auch schon Einzug in bisherige forstökonomische Betrachtungen gehalten (z.B. KNOKE und WURM, 2006; BEINHOFER und KNOKE, 2007c).

Downside-Erwartungswert (LPM_1)

Der Downside-Erwartungswert (LPM erster Ordnung bzw. LPM_1), berücksichtigt das Ausmaß der Unterschreitung des festgelegten Targets. Er wird auch „erwarteter Ausfall“, „mittleres Ausfallrisiko“, „Expected Shortfall Magnitude“ oder „target shortfall“ genannt (EFTEKHARI, 1998; MEYER, 1999; PODDIG et al., 2005). Gleichzeitig kann man den Expected Shortfall als Sonderfall der LPM_1 verstehen, bei dem ein beweglicher Schwellenwert in Höhe

des α -Quantils verwendet wird. Auch die Semistandardabweichung gilt als Spezialfall der LPM_1 (HARLOW und RAO, 1989).

Der Downside-Erwartungswert errechnet sich als Summe der beobachteten Differenzen zwischen dem Target und den einzelnen Erträgen, dividiert durch die Gesamtzahl aller beobachteten Erträge (vgl. Formel 11, Exponent = 1). Somit gibt das LPM_1 Auskunft über die erwartete Höhe der Verfehlungen des Targets. Zusammen mit der Downside-Wahrscheinlichkeit ergibt sich ein aussagekräftiges Bild, da so nicht nur die Wahrscheinlichkeit, sondern auch das Ausmaß der möglichen Zielverfehlungen dargestellt wird. Auf dieser Grundlage kann man rational zwischen zwei Portfolios mit gleicher Downside-Wahrscheinlichkeit und gleichem Erwartungswert aber verschieden hoher Zielverfehlung entscheiden (MEYER, 1999). Neben einer reinen Minimierung der LPM_1 , die in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde, besteht die Möglichkeit zur Wahl des optimalen Portfolios einen Quotienten in Anlehnung an die Sharpe Ratio zu verwenden, der als Risikomaß die LPM_1 enthält (z.B. MAURER und REINER, 2002).

Downside-Varianz (LPM_2)

Die Downside-Varianz ist das am besten untersuchte LPM-Modell (BROGAN und STIDHAM, 2005) und wird relativ häufig in wissenschaftlichen Untersuchungen verwendet (z.B. HARLOW und RAO, 1989; HOMAIFAR und GRADY, 1990; OLMO, 2007). Die Downside-Varianz als LPM zweiter Ordnung (LPM_2) erfasst die Streuung der Unterschreitungen des Targets. Mit Hilfe der Downside-Varianz werden größere Verluste stärker gewichtet als geringere (HOMAIFAR und GRADY, 1990), indem die Zielunterschreitungen quadriert werden (vgl. Formel 11, Exponent = 2). Die Downside-Varianz misst somit die durchschnittliche quadrierte negative Abweichung vom Zielwert (POST und VAN VLIET, 2006), wobei eine geringere Downside-Varianz vorteilhaft ist. Insgesamt entspricht diese Kennzahl in etwa dem Ergebnis einer nichtlinearen Risikonutzenfunktion (MEYER, 1999). Neben der Downside-Varianz findet auch die Quadratwurzel, also die Downside-Standardabweichung oder Downside-Volatilität Verwendung (MEYER, 1999; VINOD, 2004).

Die Downside-Varianz weist Ähnlichkeiten zur Semivarianz auf, weswegen sie teilweise auch als Target-Semivarianz bezeichnet wird (MEYER, 1999). Daneben hat sie Ähnlichkeiten zur Varianz, wobei hier die Abweichungen unter Berücksichtigung des Targets und nicht um den Mittelwert der Verteilung berechnet werden (EFTEKHARI, 1998). Damit hat dieser Ansatz den engsten Bezug zum traditionellen Risikoverständnis (PODDIG et al., 2005). Mit der Downside-Varianz werden die hohen Unterschreitungen des Zielwerts besonders stark gewichtet, wohingegen die Varianz starke Abweichungen vom Mittelwert in beide Richtungen bestraft (BROGAN und STIDHAM, 2005). Da aber Investoren keine überdurchschnittlich hohen Erträge bestrafen wollen, passt die Downside-Varianz besser zu den Risikopräferenzen von Investoren (BROGAN und STIDHAM, 2005).

5 Ergebnisse

Das folgende Ergebniskapitel gliedert sich in eine Methodenstudie und eine Szenarioanalyse (vgl. Abbildung 8). Zunächst werden jedoch das in den Simulationen verwendete Datenmaterial und die finanziellen Eigenschaften der Einzelbestände näher beleuchtet. In der sich anschließenden Methodenstudie werden die effizienten Portfolios bei Betrachtung der unterschiedlichen Risikomaße dargestellt, sowie die jeweils optimalen Portfolios verglichen. Die Szenarioanalyse evaluiert dann die Effekte sich ändernder Rahmenbedingungen auf die Vorteilhaftigkeit von Einzelbeständen und Portfolios. Die Ergebnisse der Methodenstudie dienen in der Szenarioanalyse als Referenz. Im gesamten Ergebniskapitel wird immer zwischen den konventionell erzeugten Beständen und den finanziell „optimierten“ Beständen bzw. daraus gebildeten Portfolios unterschieden.

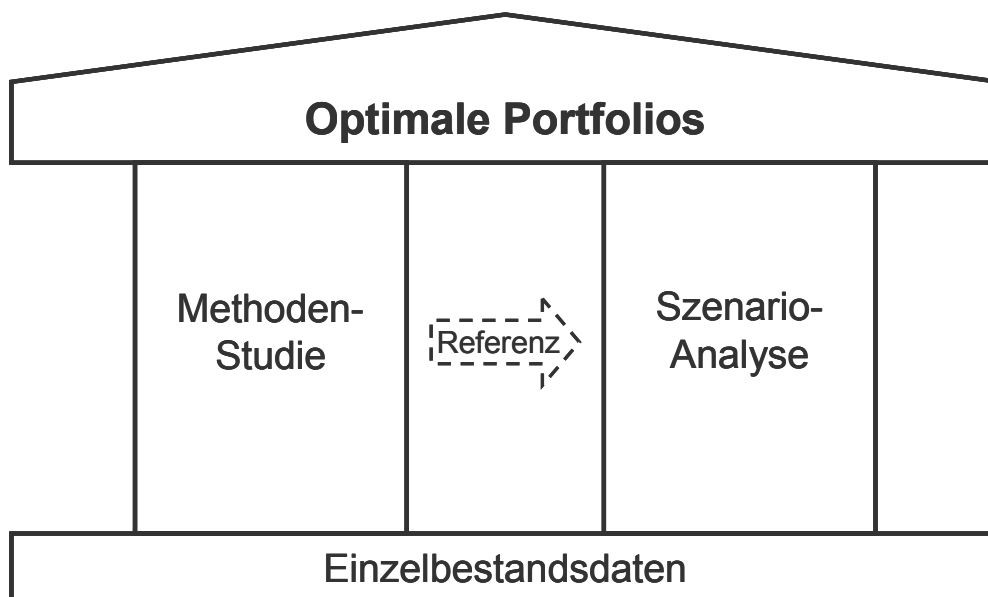


Abbildung 8 Aufbau des Ergebniskapitels

5.1 Ergebnisse zu den Einzelbeständen

In diesem Kapitel werden zunächst die Holzmengen der einzelnen Sortimente, die in den verschiedenen Beständen in den Durchforstungen und in der Endnutzung geerntet werden, sowie die damit erzielten Einnahmen dargestellt. Diese gelten für eine risikofreie Betrachtung ohne Kalamitäten und Holzpreisschwankungen. Anschließend werden die ermittelten Verteilungen von Holzpreisen und Annuitäten von Einzelbeständen sowie Portfolios einer Normalverteilung gegenübergestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der finanziellen Optimierung der Einzelbestände und deren finanzielle Kennzahlen präsentiert.

5.1.1 Holzanfälle der Bestände

Konventionell erzeugte Bestände

In Tabelle 20 werden gleichzeitig die Holzanfälle der geasteten und der ungeasteten Fichten- bzw. Kiefernbestände dargestellt. Die geernteten Holzmengen der geasteten und ungeasteten

Bestände stimmen bis zur Endnutzung der ungeasteten Bestände, die kürzere Umtriebszeiten aufweisen, überein. In Tabelle 20 wurden deshalb für die geasteten Bestände nur die abweichenden Holzanfälle extra aufgeführt.

Tabelle 20 Holzanfälle der konventionell bewirtschafteten Fichten- und Kiefernbestände (ungeastet und geastet) bei Durchforstungen und Endnutzung, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

ungeasteter Fichtenbestand (Fi)				ungeasteter Kiefernbestand (Kie)			
Alter	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrie- holz Efm/ha	Alter	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrie- holz Efm/ha
25		34	9	25			
30		31	5	30			9
35		27	4	35		1	11
40		30	3	40		4	14
45		32	3	45		5	15
50		33	3	50		10	14
55		37	3	55		14	13
60		25	1	60		18	12
65		18	1	65		22	12
70		15	1	70		18	10
75		9	1	75		15	7
80		3		80		5	3
85		7		85		5	2
90		496	7	90		4	2
geasteter Fichtenbestand (FiAst)				95		3	1
90		5		100		2	1
95		4		105		4	1
100	139	438	11	110		2	1
				115		3	
				120		2	
				125		2	1
				130			
				135			
				140		263	11
geasteter Kiefernbestand (KieAst)							
				140			
				145		1	
				150	91	200	11

In diesen Fichten- und Kiefernbeständen wird hauptsächlich Sägeholz produziert, welches bei Fichte einen Anteil von 95 % und bei Kiefer von 74 % hat. Trotz der längeren Umtriebszeit wird im Kiefernbestand deutlich weniger Holz geerntet. Es wird unterstellt, dass in den ungeasteten Beständen kein Wertholz geerntet wird. Von den geasteten Fichten erreichen in 100 Jahren lediglich 134 Bäume je Hektar den Mindestdurchmesser für Wertholz. Die 5,1 m lang ausgehaltenen Erdstämme dieser geasteten Fichten liefern 139 Efm Wertholz je Hektar (vgl. Tabelle 20). Die 149 geasteten Kiefern, die einen Durchmesser von 40 cm erreichen, ergeben ein Wertholzvolumen von 91 Efm/ha.

Tabelle 21 Holzanfälle der konventionell bewirtschafteten Buchen- und Eichenbestände bei Durchforstungen und Endnutzung, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Buchenbestand (Bu)				Eichenbestand (Ei)			
Alter	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrie- holz Efm/ha	Alter	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrie- holz Efm/ha
25			13	25			
30				30			
35			22	35			
40				40			
45			29	45			
50				50			
55		8	58	55			
60			1	60			
65			1	65			
70		5	7	70			
75		6	5	75			39
80		8	7	80			
85		3	3	85			16
90		12	12	90			
95		8	9	95		1	9
100		10	12	100			
105		7	9	105			1
110		10	14	110			
115		10	16	115			
120		14	24	120		19	17
125		2	4	125			
130	20	164	162	130		18	18
				135			
				140		18	19
				145			
				150		18	18
				155			
				160		18	18
				165			
				170		10	10
				175			
				180		1	1
				185			
				190		1	1
				195			
				200			
				205			
				210			
				215			
				220	63	94	238

In den Laubholzbeständen erfolgt die Produktion von Wertholz in diesem Fall ohne Astung. Im Eichenbestand wird erst sehr spät Holz geerntet (vgl. Tabelle 21), was auf die sehr lange Pflegephase, in der zwar Bäume entnommen, aber kein verkaufsfähiges Holz geerntet wird, zurückzuführen ist. Bei der Buche wird dagegen bereits relativ früh Industrieholz geerntet.

Insgesamt fallen im konventionell erzeugten Buchenbestand 58 % Industrie- und 42 % Stammholz an (vgl. Tabelle 21). Orientiert man sich an den von SPELLMANN (2005) angegebenen Wertholzanteilen, können im konventionell erzeugten Buchenbestand 20 Efm/ha Wertholz geerntet werden. Für die Endnutzung des Eichenbestandes ergibt sich unter Berücksichtigung der Ergebnisse von KENK (1984) eine Wertholzmenge von 63 Efm/ha (vgl. Tabelle 21). Im Eichenbestand wurden in Summe 60 % Industrie- und 40 % Stammholz geerntet. Die durchschnittlichen jährlichen Zuwächse an verkaufsfähigem Holz liegen für Fichte bei 9,3 Efm/ha*a, Kiefer leistet 3,9 Efm/ha*a, Buche weist 5,4 Efm/ha*a auf und Eiche 3,0 Efm/ha*a.¹¹

„Optimierte“ Bestände

In Tabelle 22 bis Tabelle 25 werden die nach Sortimenten aufgliederten Holzanfälle der für einen Zinssatz von 2 % finanziell „optimierten“ Fichten-, Kiefern-, Buchen- und Eichenbestände, jeweils untergliedert nach den Beständen zur Wertholz-, Sägeholz- und Industrieholzproduktion dargestellt. Die Ernte von Wertholz wird nur in den geasteten Beständen unterstellt, während in den Sägeholzbeständen Säge- sowie Industrieholz anfällt. Ausschließlich letzteres Sortiment wird in den Industrieholzbeständen geerntet.

Tabelle 22 Holzanfälle der finanziell „optimierten“ Fichtenbestände bei Durchforstungen und Endnutzung, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Fichtenwertholzbestand (FiWH)			Fichtensägeholzbestand (FiSH)			Fichtenindustrieholzbestand (FiIH)		
	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha
20									121
25						9			
30					2	4			
35					7	4			
40					12	3			
45					15	3			
50	146	224			21	2			
55					480	19			

¹¹ Der Aspekt dieser z.B. im Vergleich zu den Ergebnissen der BWI² (BMELV, 2005a) geringen Zuwächse wird in der Diskussion (vgl. Kapitel 6.2.1) aufgegriffen und intensiv beleuchtet.

Tabelle 23 Holzanfälle der finanziell „optimierten“ Kiefernbestände bei Durchforstungen und Endnutzung, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Kiefernwertholzbestand (KieWH)			Kiefernsägeholzbestand (KieSH)			Kiefernindustrieholzbestand (KieIH)		
	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha
25									82
30						3			
35						6			
40						10			
45						17			
50					7	14			
55					15	8			
60					17	6			
65					19	5			
70	98	218			23	2			
75					21	3			
80					19	3			
85					278	28			

Tabelle 24 Holzanfälle der finanziell „optimierten“ Buchenbestände bei Durchforstungen und Endnutzung, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Buchenwertholzbestand (BuWH)			Buchensägeholzbestand (BuSH)			Buchenindustrieholzbestand (BuIH)		
	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha
35			25						
40									141
45									
50					15	20			
55									
60					9	6			
65	47	8	69						
70					10	9			
75					148	162			

Tabelle 25 Holzanfälle der finanziell „optimierten“ Eichenbestände bei Durchforstungen und Endnutzung, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Eichenwertholzbestand (EiWH)			Eichensägeholzbestand (EiSH)			Eichenindustrieholzbestand (EiIH)		
	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha	Wertholz Efm/ha	Sägeholz Efm/ha	Industrieholz Efm/ha
40			18						
45			22						
50			15			11			115
55			4						
60						12			
65									
70					1	2			
75									
80					1	1			
85									
90									
95	79		113						
100					132	136			

Die Wertholzanfälle in den finanziell „optimierten“ Beständen sind höher als in den konventionell erzeugten Beständen. Während die Unterschiede beim Nadelholz relativ gering sind, zeigen sich beim Laubholz, besonders bei der Buche, in den „optimierten“ Beständen deutlich höhere Wertholzmengen. Die Sägeholzbestände, als am ehesten mit den konventionell erzeugten Beständen vergleichbar, weisen mit Ausnahme des Fichtenbestandes höhere Stammholzanteile auf (FiSH 93 %; KieSH 79 %; BuSH 48 %; EiSH 45 %). Die im Vergleich zu den konventionell erzeugten Beständen schon frühzeitig erreichten hohen Endnutzungsmengen ergeben sich durch die deutlich schwächeren Durchforstungseingriffe. Betrachtet man die durchschnittlichen jährlichen Zuwächse an verkaufsfähigem Holz, sind diese nur beim Fichten- und Kiefernensägeholzbestand und dem Kiefernwertholzbestand höher als bei den konventionell erzeugten Beständen. Im Falle der anderen „optimierten“ Bestände liegt der Zuwachs zum Teil deutlich geringer (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26 Durchschnittliche jährliche Zuwächse an verkaufsfähigem Holz in den für einen Zinssatz von 2 % „optimierten“ Beständen in Efm/ha*a

	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
Wertholzbestand	7,4	4,5	2,3	2,6
Sägeholzbestand	10,6	5,9	5,0	3,0
Industrieholzbestand	6,1	3,3	3,5	2,3

Die Bestände zur Industrieholzproduktion zeigen beim Nadelholz den geringsten Zuwachs, beim Laubholz sind dies hingegen die Bestände zur Wertholzproduktion. Die Bestände zur Sägeholzproduktion weisen stets die höchsten Zuwächse an verkaufsfähigem Holz auf.

5.1.2 Einnahmen aus der Holzernte

Die oben dargestellten Holzmenen wurden für dieses Kapitel mit Preisen bewertet. Dies erfolgte mit den mittleren in der Vergangenheit zu beobachtenden Preisen, abzüglich der

Holzerntekosten. Somit gelten die angegebenen Einnahmen für die mittleren Verhältnisse des Preismodells „Historisch“.

Konventionell erzeugene Bestände

In den Fichtenbeständen werden schon mit den ersten Durchforstungen sehr hohe Einnahmen durch die Produktion von Sägeholz erzielt (vgl. Tabelle 27). Im Vergleich dazu spielen die Einnahmen aus der Industrieholzernte eine untergeordnete Rolle. Bei der Kiefer hingegen sind die Einnahmen aus den Durchforstungen wesentlich geringer und stammen zu großen Teilen aus der Industrieholzernte. Die Abtriebswerte der Fichtenbestände sind etwa doppelt so groß wie die der Kiefernbestände. Die Investition in die Astung führt bei beiden Baumarten zu hohen zusätzlichen Einnahmen aus dem Verkauf des geasteten Wertholzes. Dies geht zu Lasten des Sägeholzes, da das Volumen der geasteten Erdstämme nicht mehr diesem Sortiment zugeordnet wird.

Tabelle 27 Einnahmen aus der Holzernte in konventionell bewirtschafteten Fichten- und Kiefernbeständen (ungeastet und geastet), aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

ungeasteter Fichtenbestand (Fi)				ungeasteter Kiefernbestand (Kie)			
Alter	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrie- holz in €/ha	Alter	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrie- holz in €/ha
25		1.216	218	25			
30		1.141	128	30		2	133
35		1.057	83	35		14	160
40		1.223	75	40		101	207
45		1.398	68	45		135	229
50		1.388	72	50		286	207
55		1.601	68	55		403	201
60		1.085	28	60		518	181
65		788	28	65		674	174
70		698	26	70		566	144
75		407	13	75		497	106
80		123		80		158	44
85		310		85		179	34
90		23.299	156	90		128	26
geasteter Fichtenbestand (FiAst)				95		89	20
90		221		100		83	18
95		183		105		157	15
100	17.879	20.699	255	110		65	10
				115		84	
				120		70	
				125		74	9
				130		5	
				135		8	
				140		11.304	167
geasteter Kiefernbestand (KieAst)				140			
				145		43	
				150	10.106	8.535	163

Tabelle 28 Einnahmen aus der Holzernte in konventionell bewirtschafteten Buchen- und Eichenbeständen, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Buchenbestand (Bu)				Eichenbestand (Ei)			
Alter	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrie- holz in €/ha	Alter	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrie- holz in €/ha
25			123	25			
30				30			
35			213	35			
40				40			
45			279	45			
50				50			
55		245	567	55			
60			5	60			
65		5	6	65			
70		156	71	70			
75		208	51	75			224
80		311	69	80			
85		130	33	85		3	89
90		596	114	90			
95		447	91	95		23	53
100		573	120	100			
105		373	86	105		2	4
110		609	135	110			
115		727	154	115			
120		990	230	120		587	97
125		153	43	125			
130	2.884	11.507	1.574	130		571	104
				135			
				140		791	106
				145			
				150		904	100
				155			
				160		1.293	102
				165			
				170		881	60
				175			
				180		19	3
				185			
				190		95	8
				195			
				200			
				205			
				210			
				215			
				220	41.224	14.324	1.358

In den ersten Durchforstungen stammen die Einnahmen in den Buchenbeständen überwiegend aus der Ernte von Industrieholz (vgl. Tabelle 28), während in den späteren Durchforstungen höhere Einnahmen aus dem Verkauf von Sägeholz erzielt werden. In den Durchforstungen des Eichenbestandes werden teilweise erhebliche Einnahmen erzielt, die vorwiegend aus dem Verkauf von Sägeholz stammen. Das Sägeholz bestimmt auch den Abtriebswert des Buchen-

bestandes, wohingegen das Wertholz eine untergeordnete Rolle spielt und nur etwa doppelt so hohe Einnahmen ermöglicht wie das Industrieholz. Gegenüber den ungeasteten Kiefernbeständen ist der Abtriebswert deutlich größer, wenngleich er geringer ist als bei den geasteten Nadelholz- und ungeasteten Fichtenbeständen. Den höchsten Abtriebswert haben die konventionell erzeugten Eichenbestände (vgl. Tabelle 28), zu dem das geerntete Wertholz den weitaus größten Beitrag leistet. Die Einnahmen aus dem Wertholz sind im Eichenbestand am höchsten und entsprechen etwa den zweifachen Einnahmen aus dem geasteten Fichtenbestand, den ca. vierfachen aus dem geasteten Kiefernbestand und den ca. 14fachen Einnahmen aus dem Buchenbestand.

Summiert man die Durchforstungserlöse und den Abtriebswert und berücksichtigt die erforderlichen Ausgaben sowie die Umtriebszeit, ergibt sich die durchschnittliche jährliche Wertleistung des Bestandes bzw. der (Wald)Reinertrag (vgl. Tabelle 29). In solch einer zinslosen Betrachtung sind die geasteten Nadelholzbestände den ungeasteten deutlich überlegen. Die Baumart Fichte liefert die höchsten Reinerträge, gefolgt von Eiche und Buche. Die geringste Wertleistung zeigen die Kiefernbestände.

Tabelle 29 Reinerträge der konventionell bewirtschafteten Bestände

Bestand	Reinertrag in €/ha*a
FiAst	491
Fi	380
KieAst	143
Kie	108
Bu	144
Ei	258

In dieser Betrachtung ohne Kalkulationszinssätze zeigen alle Baumarten bzw. Bestände einen positiven Reinertrag (vgl. Tabelle 29), verfügen also über mehr Einnahmen als Ausgaben.¹²

„Optimierte“ Bestände

Die in den Wertholzbeständen durch Wertholz erzielten Einnahmen sind in den „optimierten“ Beständen analog zur Wertholzmenge höher als in den entsprechenden konventionell erzeugten Beständen (vgl. Tabelle 30 bis Tabelle 33). Der wesentliche Unterschied gegenüber den konventionell erzeugten Beständen liegt aber in den deutlich kürzeren Umtriebszeiten. Werden in den konventionell erzeugten Beständen, in denen Wertholz anfällt, zusätzlich größere Einnahmen mit anderen Sortimenten erzielt, spielt dies hier eine untergeordnete Rolle. Somit wurde in den Beständen zur Wertholzproduktion ein wesentliches Ziel der Optimierung erreicht, indem die Einnahmen aus dem angestrebten Sortiment „Wertholz“ dominieren.

¹² Auch die Wertleistungen der einzelnen Bestände und die Relationen zwischen diesen werden in der Diskussion (vgl. Kapitel 6.2.1) näher beleuchtet.

Tabelle 30 Einnahmen aus der Holzernte in den finanziell „optimierten“ Fichtenbeständen, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Fichtenwertholzbestand (FiWH)			Fichtensägeholzbestand (FiSH)			Fichtenindustrieholzbestand (FiIH)		
	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha
20									2.541
25						222			
30					54	88			
35					181	83			
40					354	70			
45					503	60			
50	18.839	6.915			783	45			
55					22.244	455			

Tabelle 31 Einnahmen aus der Holzernte in den finanziell „optimierten“ Kiefernbeständen, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Kiefernwertholzbestand (KieWH)			Kiefernensägeholzbestand (KieSH)			Kiefernindustrieholzbestand (KieIH)		
	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha
25									1.027
30						44			
35						89			
40						154			
45					7	253			
50					175	217			
55					391	119			
60					496	93			
65					595	78			
70	10.932	3.492			758	35			
75					750	39			
80					703	41			
85					10.893	415			

Tabelle 32 Einnahmen aus der Holzernte in den finanziell „optimierten“ Buchenbeständen, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Buchenwertholzbestand (BuWH)			Buchsägeholzbestand (BuSH)			Buchenindustrieholzbestand (BuIH)		
	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha
35			243						
40									1.015
45									
50					357	196			
55									
60					217	60			
65	6.660	357	667						
70					311	83			
75					5.011	1.571			

Tabelle 33 Einnahmen aus der Holzernte in den finanziell „optimierten“ Eichenbeständen, aufgliedert nach Wert-, Säge- und Industrieholz

Alter	Eichenwertholzbestand (EiWH)			Eichensägeholzbestand (EiSH)			Eichenindustrieholzbestand (EiIH)		
	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha	Wertholz in €/ha	Sägeholz in €/ha	Industrieholz in €/ha
40			101						
45			123						
50			88			60			367
55			24						
60					1	70			
65									
70					27	12			
75									
80					33	5			
85									
90					3				
95	52.136		647						
100					5.469	773			

Bedingt durch ein anderes Durchforstungskonzept zeigen die Fichten- und Kiefersägeholzbestände geringere Durchforstungserlöse als die konventionell erzeugten Bestände. Dafür sind die Abtriebswerte annähernd gleich, obwohl die Endnutzung der Sägeholzbestände viel früher stattfindet (vgl. Tabelle 30 und Tabelle 31). In den Laubholzbeständen zur Sägeholzproduktion werden nur geringe Durchforstungserlöse erzielt (vgl. Tabelle 32 und Tabelle 33) und die Abtriebswerte sind wesentlich kleiner als bei den konventionell behandelten Beständen. Allerdings sind die Abtriebswerte der Laubsägeholzbestände im Vergleich zu konventionell erzeugten Beständen gleichen Alters spürbar höher. In Summe wird deutlich, dass es auch in den Beständen zur Sägeholzproduktion gelungen ist, dass das angestrebte Produkt „Sägeholz“ die Einnahmen dominiert.

Noch mehr gilt dies für die Bestände zur Industrieholzproduktion, da ausschließlich dieses Sortiment geerntet wird. Die Industrieholzbestände der Fichte erzielen die höchsten Einnahmen, während die von Buche und Kiefer trotz sehr unterschiedlicher Holzmenngen fast gleiche Abtriebswerte aufweisen. Mit Abstand die geringsten Einnahmen werden im entsprechenden Eichenbestand erzielt. Durch diesen Betrag können nicht einmal die Kulturkosten gedeckt werden, so dass dieser Bestand sogar einen negativen Reinertrag hat (vgl. Tabelle 34).

Tabelle 34 Reinerträge der finanziell „optimierten“ Bestände

Bestand	Reinertrag in €/ha*a
FiWH	470
FiSH	412
FilH	103
KieWH	178
KieSH	162
KielH	26
BuWH	104
BuSH	93
BulH	9
EiWH	540
EiSH	57
EilH	-5

Innerhalb der einzelnen Baumarten steigt der Reinertrag von den Industrieholzbeständen über die Sägeholzbestände hin zu den Wertholzbeständen an (vgl. Tabelle 34). In den Sägeholz- und Industrieholzbeständen erhöht sich die Wertleistung von der Eiche über Buche und Kiefer hin zur Fichte. Bei den Wertholzbeständen hingegen ist sie bei Eiche am höchsten, gefolgt von Fichte, Kiefer und Buche. Die Reinerträge aller „optimierten“ Buchenbestände sind deutlich kleiner als beim konventionell erzeugten Bestand, für die Eiche gilt dies mit Ausnahme des Wertholzbestandes. Bei den Nadelholzbeständen hingegen sind die Reinerträge in den Wertholz- und Sägeholzbeständen, mit Ausnahme des Fichtenwertholzbestandes, größer als in den vergleichbaren konventionell erzeugten Beständen. Die Industrieholzbestände zeigen stets geringere Wertleistungen als die konventionell erzeugten Bestände. Allerdings werden in dieser Betrachtung weder Kalamitätsrisiken, Holzpreisschwankungen noch Kalkulationszinssätze berücksichtigt. Werden diese Faktoren mit einbezogen, ergibt sich nicht ein einzelner Wert, sondern eine ganze Verteilung.

5.1.3 Verteilungen finanzieller Kennwerte

Ein oftmals diskutiertes Problem bei Anwendung der Portfoliotheorie nach MARKOWITZ ist die Normalverteilungsannahme. Auch für die Preissimulation wird diese oftmals angewendet, wenngleich festgestellt wurde, dass sie häufig nicht zutreffend ist (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005) und besonders schlechte Ergebnisse in der Realität häufiger vorkommen als nach der Normalverteilung zu erwarten wäre. Im Folgenden werden beispielhaft die in dieser Studie beobachteten Verteilungen von Holzpreisen und Annuitäten einer Normalverteilung mit gleichem Mittelwert und Standardabweichung gegenübergestellt.

5.1.3.1 Holzpreise

Für diese Analyse wurde die Verteilung der Holzpreise von Kiefernwertholz über den in die Preissimulation eingehenden Zeitraum von 1972-2004 ermittelt (vgl. Abbildung 9). Die Preissimulation über Bootstrapping bildet diese Verteilung exakt ab.

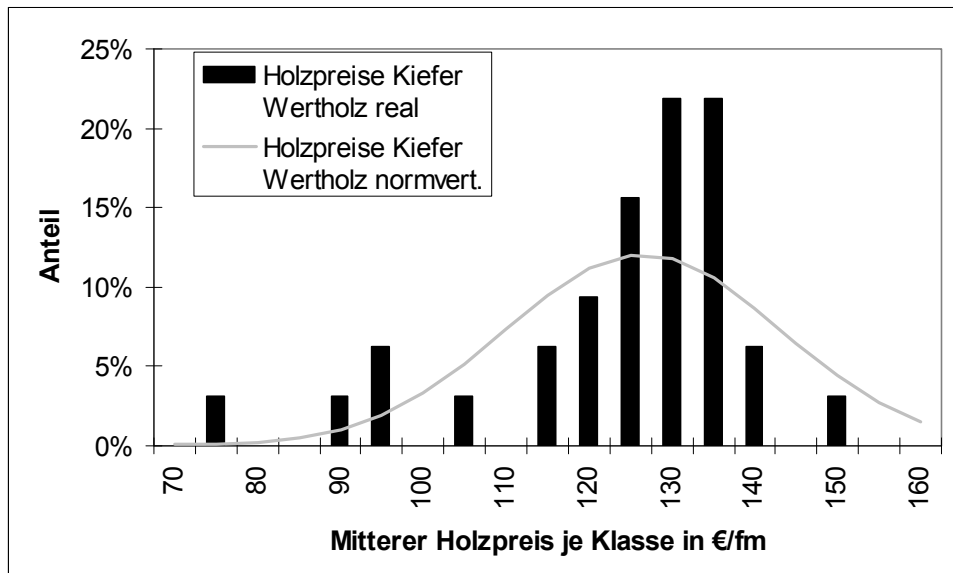


Abbildung 9 Tatsächliche Verteilung der Kiefernwertholzpreise (Holzpreise Kiefer Wertholz real) im Vergleich zur Normalverteilung (Holzpreise Kiefer Wertholz normvert.)

Es zeigt sich, dass die tatsächliche Preisverteilung¹³ nicht einer Normalverteilung entspricht (vgl. Abbildung 9). Für eine realitätsnahe Preissimulation ist somit das in dieser Studie gewählte Bootstrapping der Annahme einer Normalverteilung überlegen.

5.1.3.2 Annuitäten von Einzelbeständen

Beispielhaft sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 die in der Monte-Carlo-Simulation ermittelten Verteilungen der Annuitäten für den konventionell bewirtschafteten Buchenbestand und den Kiefernwertholzbestand im Vergleich zu einer Normalverteilung der Annuitäten dargestellt.

¹³ Für die Betrachtung der Verteilung der Kiefernwertholzpreise ist zu berücksichtigen, dass lediglich 32 Werte zugrunde liegen.

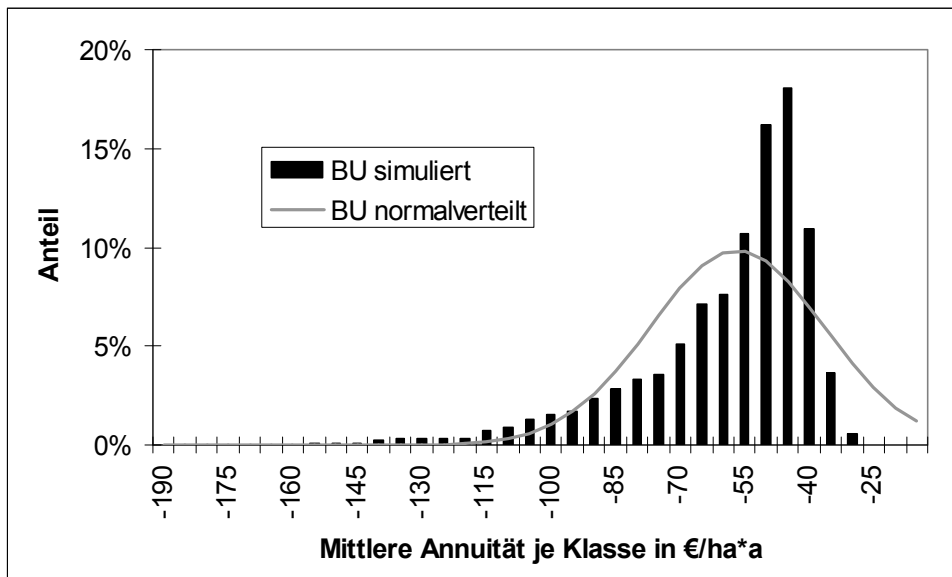


Abbildung 10 In der Monte-Carlo-Simulation ermittelte Verteilung der Annuitäten des konventionell erzeugten Buchenbestandes (BU simuliert) und Verteilung nach der Normalverteilungsannahme (BU normalverteilt)

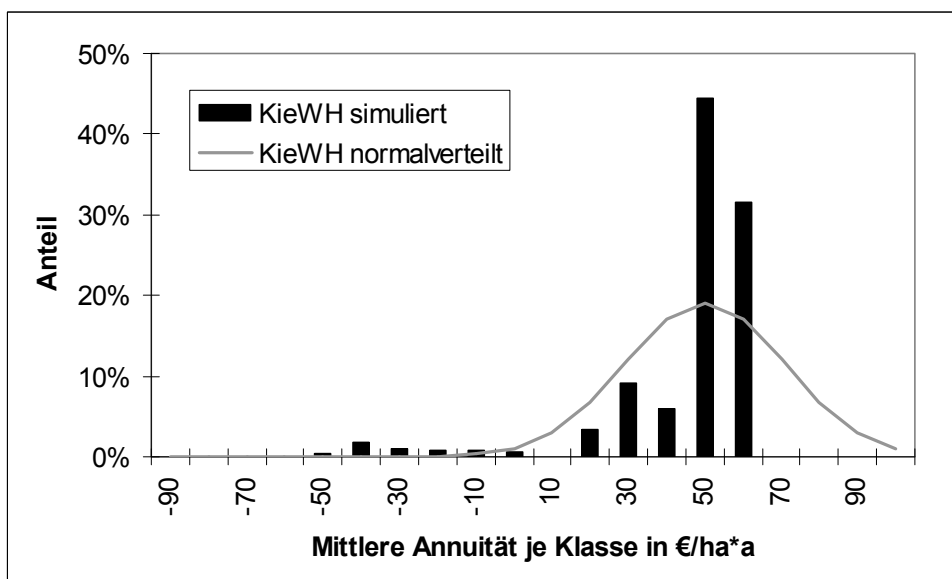


Abbildung 11 In der Monte-Carlo-Simulation ermittelte Verteilung der Annuitäten des Kiefernwertholzbestandes (KieWH simuliert)¹⁴ und Verteilung nach der Normalverteilungsannahme (KieWH normalverteilt)

Es zeigt sich, dass die Verteilungen der in der Monte-Carlo-Simulation ermittelten Annuitäten deutlich von einer Normalverteilung abweichen (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 11). Zum einen sind die besonders guten Ergebnisse, d.h. die höheren Annuitäten im Vergleich zur Normalverteilungsannahme unterrepräsentiert. Daneben zeigen diese Verteilungen eine deutliche Linksschiefe und besonders niedrige Werte kommen häufiger vor als nach der Normalverteilung zu erwarten wäre. Auch treten beim konventionell bewirtschafteten Buchenbestand

¹⁴ Die relativ starke Klumpung der Annuitäten könnte darauf zurückzuführen sein, dass in der kurzen Umtriebszeit das Kalamitätsrisiko kaum eine Rolle spielt und die Kiefernwertholzpreise eine sehr geringe Streuung aufweisen.

Annuitäten bis -180 €/ha*a und beim Kiefernwertholzbestand bis -90 €/ha*a auf, die nach der Normalverteilung praktisch nie vorkommen dürften. Aus diesen Beispielen, die stellvertretend für die anderen Bestände stehen, kann gefolgert werden, dass die Normalverteilungsannahme für die Eingangsgrößen in die Portfoliooptimierungen nur bedingt tauglich ist.

5.1.3.3 Annuitäten von Portfolios

Abschließend soll noch untersucht werden, wie die Annuitäten von Portfolios, bestehend aus verschiedenen Einzelbeständen verteilt sind (vgl. Abbildung 12). Dies erfolgt am Beispiel des für eine Renditeforderung von 2 % nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen.¹⁵

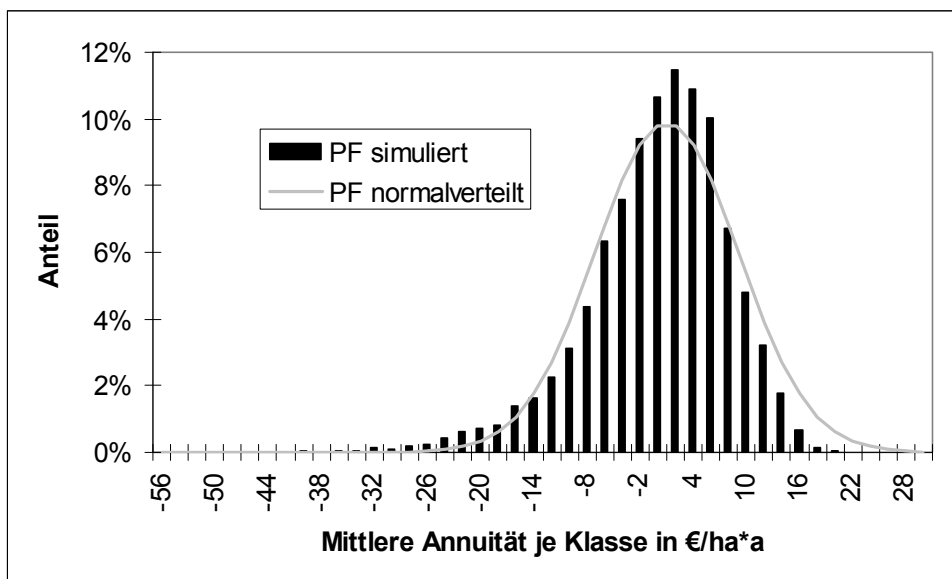


Abbildung 12 Aus den Ergebnissen der Monte-Carlo-Simulation ermittelte Verteilung der Annuitäten des nach der Standardabweichung für eine Renditeforderung von 2 % optimalen Portfolios (PF simuliert) aus konventionell bewirtschafteten Beständen im Vergleich zur Normalverteilung (PF normalverteilt)

Verglichen mit den Darstellungen der Holzpreise oder der Annuitäten der Einzelbestände, stimmt die Verteilung der Annuitäten eines Portfolios vergleichsweise gut mit der Normalverteilung überein (vgl. Abbildung 12). Allerdings ist die Häufung der Annuitäten um den Mittelwert größer als zu erwarten wäre. Im Vergleich zur Normalverteilung kommen daneben unterdurchschnittliche Annuitäten häufiger vor während auch mit Annuitäten bis -59 €/ha*a gerechnet werden muss, die nach der Normalverteilung fast nie auftreten dürften. Wie bereits erwähnt, ist dies einer der Hauptkritikpunkte an der Verwendung der Normalverteilung (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005). Somit erscheint es vorteilhaft, dass in dieser Studie, neben dem klassischen Weg, die Portfolios auch mit der gesamten in der Monte-Carlo-Simulation ermittelten Werteverteilung und verschiedenen Downside-Risikomaßen optimiert wurden.

¹⁵ Zur Zusammensetzung dieses Portfolios siehe Abbildung 14 bei einer Annuität von 0 €/ha*a .

5.1.4 Optimale Umtriebszeiten und Durchforstungsarten

Im Folgenden werden die finanziell vorteilhaften Umtriebszeiten für die „optimierten“ Bestände dargestellt (vgl. Tabelle 35). Einschränkend muss ergänzt werden, dass die Umtriebszeiten der Industrieholzbestände nicht optimiert wurden. Daneben würde für Zinssätze von 4 % und 5 % die Umtriebszeit im Eichensägeholzbestand so weit absinken, dass das angestrebte Sägeholz kaum mehr geerntet werden könnte. Deshalb wurde die Umtriebszeit in diesen zwei Fällen auf 80 Jahre festgesetzt (vgl. Tabelle 35).

Tabelle 35 Optimale Umtriebszeiten der Bestände für unterschiedliche Zinssätze (die grau hinterlegten Umtriebszeiten entsprechen nicht den finanziell optimalen, wurden aber gewählt, dass noch ausreichende Mengen an Sägeholz geerntet werden können.)

Bestand	Zinssatz				
	1%	2%	3%	4%	5%
FiWH	55	50	50	50	50
FiSH	55	55	45	45	40
FilH	20	20	20	20	20
KieWH	80	70	70	70	55
KieSH	95	85	75	75	70
KielH	25	25	25	25	25
BuWH	65	65	60	60	60
BuSH	80	75	75	65	55
BulH	40	40	40	40	40
EiWH	100	95	95	95	95
EiSH	115	100	95	80	80
EilH	50	50	50	50	50

Die optimalen Umtriebszeiten (vgl. Tabelle 35) verkürzen sich für einen Zinssatz von 5 % bei Fichte bis auf 40 Jahre und bei Kiefer bis auf 70 Jahre. Aber auch bei Buche liegen sie zwischen 55 und 80 Jahren. Die Optimierung der Durchforstungsart ergab, dass bei der Fichte ab einem Zinssatz von 3 % eine Z-Baumdurchforstung vorteilhaft ist, für geringere Zinssätze eine starke Niederdurchforstung (BEINHOFER, 2008b). Für die Kiefer zeigte sich stets eine finanzielle Überlegenheit der starken Niederdurchforstung (BEINHOFER, 2008a). Beim Laubholz wurde keine finanzielle Optimierung der Durchforstung vorgenommen.

5.1.5 Finanzielle Kennzahlen der Einzelbestände

Für einen ersten vergleichenden Überblick werden zunächst die Annuitäten und Risikokennzahlen der einzelnen konventionell erzogenen und „optimierten“ Bestände dargestellt.

Konventionell erzogene Bestände

Lediglich die Annuitäten der Fichtenbestände sind positiv und damit auch deutlich höher als die der anderen Beständen (vgl. Tabelle 36). Gleichzeitig ist die Annuität des geasteten Fichtenbestandes etwas höher als die des ungeasteten Fichtenbestandes. Die Annuität des ungeasteten Kiefernbestandes liegt nur knapp im negativen Bereich und ist höher als beim geasteten Kiefernbestand. Die Laubholzbestände weisen deutlich geringere Annuitäten auf, wobei die des Eichenbestandes insgesamt am niedrigsten ist. Somit wäre der geastete Fichten-

bestand für einen risikoneutralen Investor, der lediglich den Erwartungswert betrachtet, vorteilhaft.

Tabelle 36 Finanzielle Kennzahlen der konventionell erzeugten Einzelbestände (Stabw. = Standardabweichung; Säq = Sicherheitsäquivalent; n.R. = normale Risikoaversion; s.R. = starke Risikoaversion, ES = Expected Shortfall)

Anteile	Annuität in €/ha*a	Stabw. in €/ha*a	Säq in €/ha*a (n.R.)	Säq in €/ha*a (s.R.)	LPM ₀ in % ¹⁶	VaR (95%) in €/ha*a	LPM ₁ in €/ha*a	ES in €/ha*a	LPM ₂ in (€/ha*a) ²
FiAst	154	44	145	135	0,3%	85	-0,07	59	3
Fi	151	36	144	138	0,1%	88	-0,03	64	1
KieAst	-15	13	-15	-16	98,0%	-37	-14,63	-58	381
Kie	-2	11	-3	-3	47,9%	-20	-4,56	-39	110
Bu	-59	20	-61	-63	100,0%	-102	-59,32	-117	3.929
Ei	-101	19	-103	-105	100,0%	-138	-101,45	-168	10.650

Nach der Standardabweichung als klassischem Risikomaß (z.B. JORION, 2001; BERTSIMAS et al., 2004) ist der ungeastete Kiefernbestand vorteilhaft (vgl. Tabelle 36). Der geastete Kiefernbestand ist nur etwas risikoreicher, während die Fichtenbestände mit Abstand die höchste Standardabweichung aufweisen. Betrachtet man das Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion ergibt sich die gleiche Vorteilhaftigkeitsreihung der Bestände wie bei Analyse der Annuität. Für alle übrigen Risikokennzahlen ist der ungeastete Fichtenbestand vorteilhaft, stets gefolgt vom geasteten Fichtenbestand. Die anderen Bestände folgen mit deutlichem Abstand in der gleichen Reihenfolge wie bei Betrachtung der Annuität. Damit unterscheidet sich das Ergebnis für die Standardabweichung ganz deutlich von der Analyse der übrigen finanziellen Kennzahlen.

Tabelle 37 Korrelationskoeffizienten der Annuitäten der konventionell erzeugten Bestände

	FiAst	Fi	KieAst	Kie	Bu	Ei
FiAst	1	0,07	0,05	0,06	0,02	0,02
Fi		1	0,06	0,09	0,02	-0,01
KieAst			1	0,11	0,04	0,00
Kie				1	0,04	0,02
Bu					1	0,00
Ei						1

Neben den in Tabelle 36 dargestellten Standardabweichungen sind für die Kalkulation des Risikos eines Portfolios nach MARKOWITZ auch die Korrelationen der Erträge erforderlich (vgl. Tabelle 37). Die Annuitäten der einzelnen Bestände sind, trotz der teilweise hohen positiven Korrelation der Holzpreise, nur sehr schwach korreliert. Eine wesentliche Ursache hierfür dürfte die Integration des Kalamitätsrisikos darstellen (vgl. BEINHOFER, 2009b). Am geringsten sind die Korrelationen mit den Annuitäten der Laubholzbestände. Dies mag auch daran liegen, dass sich die Einnahmen aus den Beständen, besonders im Fall der Eichen, zeitlich nur geringfügig überschneiden, so dass sich die Preiskorrelationen nur wenig auswirken. Die beiden Kiefernbestände haben zahlreiche identische Durchforstungserlöse zu den gleichen Zeitpunkten, so dass auch die geringe Korrelation zwischen Kiefersäge- und -wert-

¹⁶ Bei den in dieser Studie angegebenen „Verlustwahrscheinlichkeiten“ handelt es sich um simulierte Häufigkeiten, die als Approximation für die Wahrscheinlichkeit verwendet wurden.

holz die in diesem Fall stärkste positive Korrelation nicht verhindern kann. Daneben sind auch die Annuitäten von ungeasteten Fichten- und Kiefernbeständen vergleichsweise stark korreliert, was auf die sehr hohe positive Korrelation der Preise des Hauptprodukts Sägeholz zurückzuführen ist.

„Optimierte“ Bestände

Als Erfolg der durchgeführten finanziellen Optimierung zeigen sich deutlich höhere Annuitäten, die sogar bei Kiefern- und Laubholzbeständen überwiegend im positiven Bereich liegen (vgl. Tabelle 38). Insgesamt haben wiederum Fichtenbestände die höchsten Annuitäten. Die Fichtenbestände zur Säge- und Wertholzproduktion weisen daneben größere Annuitäten auf als vergleichbare konventionell bewirtschaftete Bestände. Der Eichenbestand zur Wertholzproduktion zeigt die dritthöchste Annuität, die somit höher als beim Fichtenindustrieholzbestand ist und im Bereich konventionell erzogener Fichtenbestände liegt. Die Buchen- und Eichenbestände zur Industrieholzproduktion sind die einzigen Bestände mit negativen Annuitäten. Bei allen vier Baumarten sinkt die Annuität der Bestände, simultan zum Preis des Hauptprodukts, von der Wertholz- über die Sägeholz- hin zur Industrieholzproduktion ab.

Tabelle 38 Finanzielle Kennzahlen der „optimierten“ Einzelbestände (Stabw. = Standardabweichung; Säq = Sicherheitsäquivalent; n.R. = normale Risikoaversion; s.R. = starke Risikoaversion, ES = Expected Shortfall)

Anteile	Annuität in €/ha*a	Stabw. in €/ha*a	Säq in €/ha*a (n.R.)	Säq in €/ha*a (s.R.)	LPM ₀ in %	VaR (95%) in €/ha*a	LPM ₁ in €/ha*a	ES in €/ha*a	LPM ₂ in (€/ha*a) ²
FiWH	216	106	160	104	4,4%	11	-1,50	-29	67
FiSH	175	73	148	121	2,8%	20	-0,67	-9	28
FilH	75	44	66	56	1,0%	16	-0,56	-7	32
KieWH	45	21	43	41	5,2%	-2	-1,45	-29	51
KieSH	23	21	21	19	9,3%	-31	-2,98	-47	131
KielH	13	27	10	6	32,2%	-28	-4,75	-41	123
BuWH	34	27	31	27	14,2%	-7	-0,94	-14	15
BuSH	27	14	26	25	4,5%	0	-0,34	-7	5
BulH	-6	18	-7	-9	68,2%	-36	-11,05	-37	250
EiWH	144	74	116	89	6,7%	-16	-1,81	-33	62
EiSH	1	8	1	0	43,2%	-16	-2,64	-22	39
EilH	-17	9	-17	-18	100,0%	-34	-16,95	-37	373

Der Preis für die höheren Annuitäten der „optimierten“ Bestände sind teilweise drastisch höhere Standardabweichungen und damit im klassischen Sinne ein deutlich höheres Risiko. Die höhere Standardabweichung kann auf eine geringere Zahl an Durchforstungen zurückgeführt werden, kompensieren sich doch so die Holzpreisschwankungen gegenseitig weniger (vgl. KNOKE et al., 2001). Daneben spielt der Abtriebswert aufgrund der kürzeren Umtriebszeiten eine größere Rolle für die Annuität, so dass sich auch seine Streuung stärker auswirkt (vgl. BEINHOFER, 2008b). Gleichzeitig wird die Annuität in den Wertholzbeständen maßgeblich durch die Einnahmen aus dem Wertholz bestimmt, dessen Preis aber sehr stark schwankt. Auch werden diese Schwankungen innerhalb des Bestandes kaum durch Durchforstungen und die Ernte von Säge- und Industrieholz abgepuffert, da diese in den Wertholzbeständen nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Das geringste Risiko nach der Standardabweichung weisen die Eichensäge- und -industrieholzbestände auf, während die Fichtenwert- und -sägeholzbestände neben dem Eichenwertholzbestand das höchste Risiko zeigen. Für die anderen Risikokennzahlen mit Ausnahme des Expected Shortfalls sind stets die Laubindustrieholzbestände am risikoreichsten. Bei Betrachtung des Expected Shortfalls gilt dies für die Kiefern-säge- und -industrieholzbestände. Die Einschätzung der Bestände nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion entspricht der nach der Annuität, bei starker Risikoaversion tauschen lediglich die beiden besten Bestände ihre Plätze, so dass der Fichtensägeholzbestand vorteilhaft ist. Für den VaR und die Verlustwahrscheinlichkeit sind die drei Fichtenbestände überlegen, wobei für die Verlustwahrscheinlichkeit der Fichtenindustrieholzbestand und für den VaR der Fichtensägeholzbestand am besten zu beurteilen ist. Der Fichtenindustrieholzbestand ist auch nach dem Expected Shortfall überlegen, gefolgt vom Buchensägeholzbestand, der nach den LPMs erster und zweiter Ordnung vor den anderen Beständen führt, für die LPMs erster Ordnung gefolgt von den Fichtenindustrieholz- und -sägeholzbeständen und für die LPMs zweiter Ordnung vom Buchenwert- und der Fichtensägeholzbestand. Damit ändert sich die Risikoeinschätzung der einzelnen Bestände ganz deutlich je nach betrachtetem Risikomaß.

Für das Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion zeigen sich bei den „optimierten“ Beständen zum einen höhere Werte als bei den besten und gleichzeitig keine so negativen Werte wie bei den schlechtesten konventionell bewirtschafteten Beständen. Bei den übrigen Risikokennzahlen liegen die Werte der „optimierten“ Bestände stets zwischen den von den konventionell erzeugten Beständen gelieferten Extremwerten.

Tabelle 39 Korrelationskoeffizienten der Annuitäten der „optimierten“ Einzelbestände

	FiWH	FiSH	FiIH	KieWH	KieSH	KieIH	BuWH	BuSH	BuIH	EiWH	EiSH	EiIH
FiWH	1	0,02	-0,01	0,00	0,03	-0,01	-0,02	0,06	0,00	0,02	0,04	0,51
FiSH		1	-0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	-0,01	0,03	0,00	0,00	0,01
FiIH			1	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,01
KieWH				1	-0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
KieSH					1	0,02	0,01	0,00	0,04	0,00	0,01	0,05
KieIH						1	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01
BuWH							1	0,02	0,01	-0,02	0,00	0,01
BuSH								1	0,00	-0,01	0,00	0,10
BuIH									1	0,01	-0,01	0,00
EiWH										1	-0,01	0,01
EiSH											1	0,08
EiIH												1

Die Annuitäten der finanziell „optimierten“ Bestände sind allesamt annähernd unkorreliert. Dabei liegt die durchschnittliche Korrelation mit 0,02 minimal geringer als bei den konventionell bewirtschafteten Beständen mit 0,04. Einen auffälligen Ausreißer mit 0,51 bildet der Korrelationskoeffizient zwischen den Annuitäten des Fichtenwertholz- und des Eichenindustrieholzbestandes. Dies kann zum einen durch die hohe positive Korrelation der Fichtenwertholz- und der Eichenindustrieholzpreise ($k = 0,69$; vgl. Tabelle 12) erklärt werden. Zum anderen erfolgt die einzige planmäßige Holzerntemaßnahme, die Endnutzung, in beiden Beständen zum gleichen Zeitpunkt, bei einem Bestandesalter von 50 Jahren, so dass die Preiskorrelation auch zum Tragen kommt. Bis zu diesem Alter ist der Einfluss des Kalamitätsrisikos

noch relativ gering, so dass diese Holzernte mit großer Wahrscheinlichkeit stattfinden kann. Mit dieser Ausnahme lassen die nahezu unkorrelierten Annuitäten bei den Portfoliobetrachtungen erhebliche Diversifikationseffekte erwarten.

5.2 Methodenstudie

Ziel dieser Methodenstudie ist, die Unterschiede in den Ergebnissen der Portfoliooptimierung bei Anwendung verschiedener Risikokennzahlen herauszuarbeiten. Dafür wurden immer dieselben Datensätze der Monte-Carlo-Simulation verwendet. Diese entstammen der Variante mit dem Preismodell „Historisch“, dem normalen Risikomodell und einem Zinssatz von 2 %, für die auch die Optimierung der „optimierten“ Bestände durchgeführt wurde (vgl. Kapitel 5.1.4). Diese Variante dient in der anschließenden Szenarioanalyse als Referenz.

5.2.1 Darstellung effizienter Portfolios

Nachdem bisher die Annuitäten und Risikokennzahlen von Einzelbeständen dargestellt wurden, werden im Folgenden die effizienten Portfolios präsentiert. Effizient bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Portfolios für eine bestimmte Annuität das geringste Risiko aufweisen, hier ausgedrückt durch verschiedene Kennzahlen. Die Darstellung erfolgt für den möglichen Annuitätenrahmen, der sich vom Bestand mit geringster Annuität hin zum Bestand mit höchster Annuität spannt. Exemplarisch werden auch die Bestandteile dieser effizienten Portfolios für die Betrachtung der Standardabweichung und des Value at Risk präsentiert. Für die anderen Risikomaße sei auf die Darstellungen im Anhang (vgl. Kapitel 10) verwiesen.

5.2.1.1 Klassischer Portfolioansatz nach MARKOWITZ

Anhand der bisher dargestellten Kennwerte der Einzelbestände können mit Hilfe der Portfoliotheorie von MARKOWITZ die Annuitäten und Standardabweichungen von Mischungen kalkuliert werden. Als erstes Effizienzkriterium wird das weit verbreitete klassische Risikomaß, die Standardabweichung (z. B. PFLAUMER, 1995; BERTSIMAS et al., 2004) verwendet. Es wird somit für eine bestimmte Annuität stets das Portfolio mit der geringsten Standardabweichung ermittelt. Anschließend wird das Sicherheitsäquivalent berechnet und je Annuität das Portfolio mit dem größten bestimmt.

5.2.1.1.1 Nach der Standardabweichung effiziente Portfolios

Konventionell erzogene Bestände

Die Linie der effizienten Portfolios (Abkürzung EPF) spannt sich für die konventionell behandelten Beständen vom Eichenbestand hin zum geasteten Fichtenbestand (vgl. Abbildung 13). Wie zuvor schon bei der Betrachtung der Einzelbestände zeigt sich anschaulich, wie die Fichtenbestände neben den höchsten Annuitäten auch das größte Risiko, dargestellt über die Standardabweichung, aufweisen. Die Kiefernbestände dagegen zeigen sowohl höhere Annuitäten, als auch geringere Standardabweichungen als die Laubholzbestände. Folglich sind die Kiefernbestände den Laubholzbeständen in zweifacher Hinsicht überlegen und die Regel „höherer Ertrag bedeutet höheres Risiko“ gilt in diesem Fall nicht.

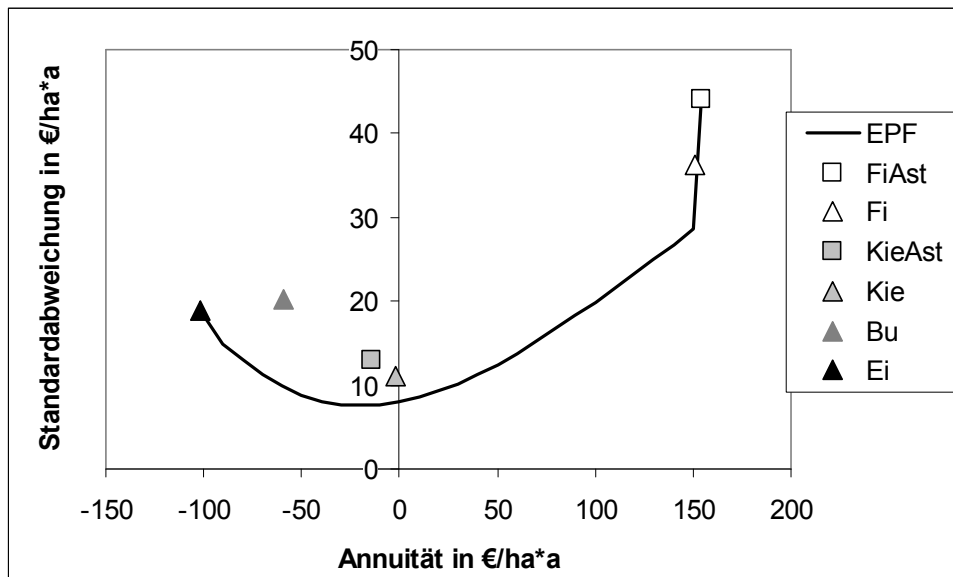


Abbildung 13 Nach der Standardabweichung effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzeugten Einzelbestände

Auffällig ist in Abbildung 13 der Knick in der Linie der effizienten Portfolios bei einer Annuität von 150 €/ha*a. Von hier an steigt die Standardabweichung viermal stärker an als die Annuität (16 bzw. 4 €/ha*a). Besteht das effiziente Portfolio für die Annuität von 150 €/ha*a noch aus 1,5 % ungeasteten Kiefernbeständen, knapp 59 % ungeasteten Fichtenbeständen und fast 40 % geasteten Fichtenbeständen, steigt danach der Anteil geasteter Fichtenbestände sehr schnell auf 100 % an (vgl. Abbildung 14). Dabei führen die etwas höhere Annuität und die überproportional höhere Standardabweichung des geasteten Fichtenbestandes (vgl. Tabelle 36) zu diesem Knick, also dem starken Anstieg der Standardabweichung. Anders herum betrachtet, ist in diesem Fall durch Portfoliobildung eine sehr starke Risikoreduktion möglich, die nur eine geringe Reduktion der Annuität erfordert.

Daneben können in Abbildung 13 gut die Diversifikationseffekte durch Investition in eine Mischung erkannt werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Buchenbestand, dem gegenüber ein Portfolio mit gleicher Annuität nur noch eine halb so große Standardabweichung aufweist. Dieses Portfolio wäre aus 22 % geasteten und 14 % ungeasteten Kiefernbeständen, 23 % Buchenbeständen und 42 % Eichenbeständen zusammengesetzt (vgl. Abbildung 14). Akzeptiert man das Risiko eines Buchenbestandes, ist durch Investition in eine Mischung mit gleicher Standardabweichung eine Steigerung der Annuität um ca. 160 €/ha*a möglich. Dieses Portfolio besteht zu 32 % aus ungeasteten Kiefernbeständen, zu 27 % aus geasteten Fichtenbeständen und zu 40 % aus ungeasteten Fichtenbeständen. Auch die stark durchgebogene Linie, auf der die effizienten Portfolios liegen und die Abstände zu den darüber liegenden Einzelbeständen sind ein Zeichen für deutliche Diversifikationseffekte.

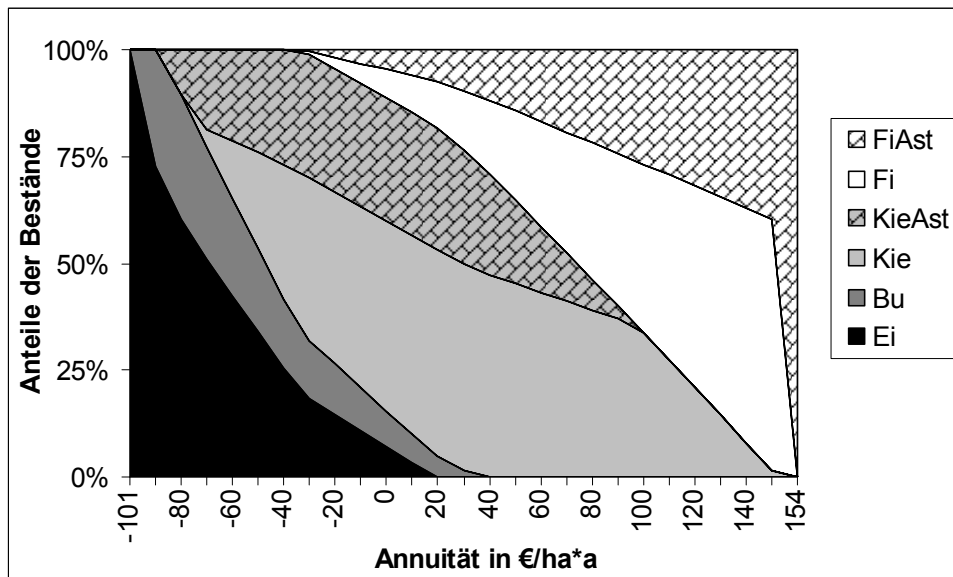


Abbildung 14 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie

In Abbildung 14 kann festgestellt werden, dass alle Bestände an effizienten Portfolios beteiligt sind, abhängig natürlich von der betrachteten Annuität. Dabei ist offensichtlich, dass einzelne Bestände auch Teil von effizienten Portfolios sind, die weit höhere Annuitäten aufweisen. So sind Eichenbestände bis zu einer Annuität von 10 €/ha*a, Buchenbestände bis zu einer Annuität von 30 €/ha*a, geastete Kiefernbestände bis zu einer Annuität von 90 €/ha*a sowie ungeastete Kiefernbestände sogar bis zu einer Annuität von 150 €/ha*a Teil von effizienten Portfolios. Mit steigender betrachteter Annuität sinkt der Anteil der Bestände mit geringen Annuitäten, wohingegen der Anteil der Fichtenbestände zunimmt.

Würde ein Investor eine Rendite von genau 2 %, also in Höhe des Kalkulationszinsfußes fordern, müsste er das Portfolio mit einer Annuität von 0 €/ha*a betrachten. Das effiziente Portfolio setzt sich in diesem Fall aus 5 % geasteten und 7 % ungeasteten Fichtenbeständen, 29 % geasteten und 44 % ungeasteten Kiefernbeständen, 8 % Buchen- und 7 % Eichenbeständen zusammen (vgl. Abbildung 14). Diese Mischung hätte bei ähnlicher Rendite ein etwas geringeres Risiko als eine Einzelinvestition in einen ungeasteten Kiefernbestand. Es zeigt sich somit, dass im Fall konventionell behandelter Bestände eine Mischungsinvestition zu Diversifikationseffekten führt und damit Vorteile gegenüber Einzelinvestitionen zu erkennen sind.

„Optimierte“ Bestände

Auf den ersten Blick sind die höheren Annuitäten und die geringere Anzahl an Einzelbeständen mit negativen Annuitäten, aber auch die größeren Standardabweichungen der „optimierten“ Bestände zu erkennen (vgl. Abbildung 15). Auch die risikosenkenden Effekte durch Investition in eine Mischung sind im Falle der Portfolios aus „optimierten“ Beständen mit bis zu 40 €/ha*a gegenüber Einzelbeständen viermal größer als bei den Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen.

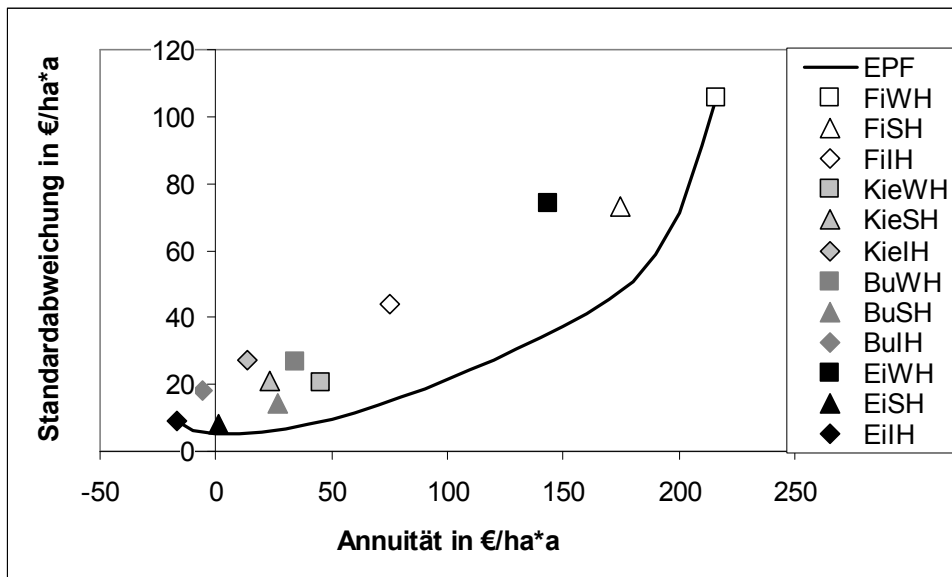


Abbildung 15 Nach der Standardabweichung effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Der Fichtenindustrieholzbestand hat bei etwa gleicher Standardabweichung wie der geastete Fichtenbestand als risikoreichster, konventionell erzeugter Bestand nur eine etwa halb so hohe Annuität, die auch eine Mischung erreicht, deren Standardabweichung um fast 30 €/ha*a geringer ist. Diese Mischung setzt sich aus 6 % Fichtenwertholz-, 11 % Fichtensägeholz- und 12 % Fichtenindustrieholz-, 26 % Kiefernwertholz- und 6 % Kiefernssägeholz-, sowie 11 % Buchenwertholz-, 20 % Buchensägeholz- und 9 % Eichenwertholzbeständen zusammen (vgl. Abbildung 16). Würde bei einer Investition dasselbe Risiko wie bei dem Fichtenindustrieholzbestand eingegangen, könnte eine gut 90 €/ha*a größere Annuität erzielt werden, die bei gleichem Risiko um 12 €/ha*a höher als beim konventionellen, geasteten Fichtenbestand ist. Ein solches Portfolio setzt sich aus 25 % Fichtenwert-, 38 % Fichtensäge-, 11 % Fichtenindustrie- sowie 27 % Eichenwertholzbeständen zusammen. Dieser Vergleich zeigt, dass durch Portfoliobildung aus den „optimierten“ Beständen deutlich größere Diversifikationseffekte erzielt werden können. Für eine Renditeforderung von 2 % (Annuität gleich 0 €/ha*a) ist das effiziente Portfolio von Eichenbeständen zur Industrie- und Sägeholzproduktion dominiert. Daneben halten die Kiefern- und Buchenbestände kleinere Anteile, wohingegen die Fichtenbestände nicht beteiligt sind (vgl. Abbildung 16).

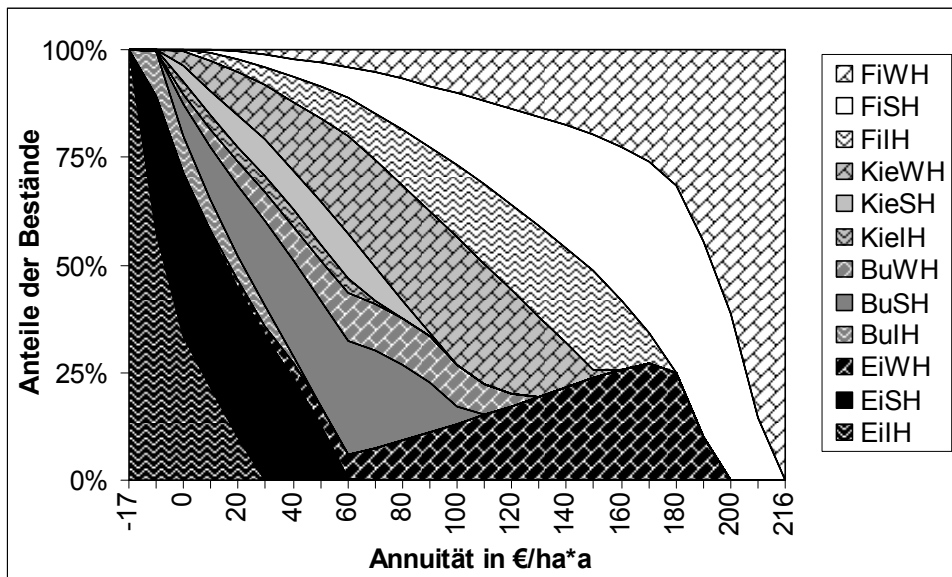


Abbildung 16 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie

Die einzelnen Bestände sind an den effizienten Portfolios unterschiedlich stark beteiligt. So haben z.B. die Kiefernindustrieholzbestände nur sehr geringe Anteile, im Gegensatz zu den Fichtenwertholzbeständen, die teilweise die effizienten Portfolios dominieren (vgl. Abbildung 16). Die Anteile der Kiefern- und Buchenbestände nehmen mit steigenden Annuitäten zunächst zu, anschließend jedoch wieder ab, wohingegen der Anteil der Eichenbestände bei einer Annuität von 60 €/ha*a den zwischenzeitlich geringsten Anteil aufweist, der für höhere Annuität wieder stark zunimmt. Dieser ansteigende Anteil wird alleine vom Eichenwertholzbestand ausgefüllt, der bei einer Annuität von 170 €/ha*a mit 27 % seinen höchsten Anteil hat, obwohl die Annuität des Einzelbestandes bei 144 €/ha*a liegt. Anschließend sinkt der Eichenanteil wieder und ab einer Annuität von 200 €/ha*a werden die effizienten Portfolios ausschließlich von Fichtenbeständen gebildet.

5.2.1.1.2 Nach dem Sicherheitsäquivalent effiziente Portfolios

Konventionell erzogene Bestände

Für normale Risikoaversion liegen alle effizienten Portfolios auf einer nahezu geraden Linie (vgl. Abbildung 17), während sich alle Einzelbestände ebenfalls annähernd auf dieser Linie befinden, so dass keine großen Diversifikationseffekte zu erkennen sind.

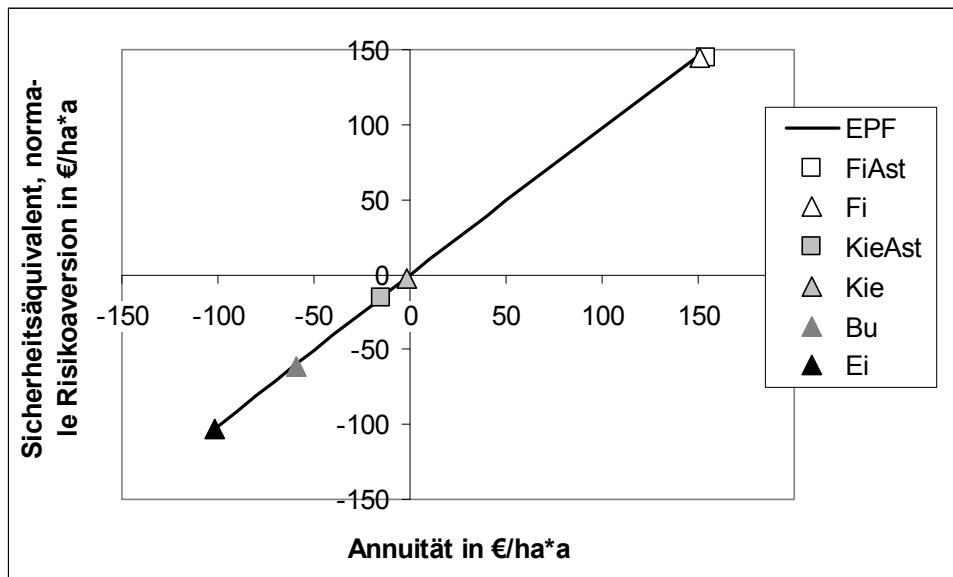


Abbildung 17 Nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzeugten Einzelbestände

Auf eine gesonderte Darstellung der Zusammensetzung der effizienten Portfolios kann für die Betrachtung des Sicherheitsäquivalents verzichtet werden, da sich diese nicht von der Zusammensetzung der nach der Standardabweichung effizienten Portfolios unterscheidet (vgl. Abbildung 14). Diese Übereinstimmung in der Portfoliozusammensetzung erscheint plausibel, wird doch für eine Maximierung des Sicherheitsäquivalents bei festgelegter Annuität der Risikoabschlag minimiert, wobei die Standardabweichung die einzige veränderbare Eingangsgröße ist. Folglich ist der Risikoabschlag für die geringstmögliche Standardabweichung auch am niedrigsten und die für eine bestimmte Annuität gebildeten Portfolios mit der geringsten Standardabweichung sind auch nach dem Sicherheitsäquivalent vorteilhaft. Die Darstellung der effizienten Portfolios für starke Risikoaversion unterscheidet sich nur minimal von der Betrachtung bei normaler Risikoaversion, so dass hier auf eine gesonderte Darstellung verzichtet wurde.

„Optimierte“ Bestände

Im Gegensatz zu den Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen zeigt sich für die Mischung aus „optimierten“ Beständen bei Betrachtung des Sicherheitsäquivalents für normale Risikoaversion eine deutlich gekrümmte Optimumkurve (vgl. Abbildung 18). Diese weist im Bereich einer Annuität von 200 €/ha*a ein deutlich erkennbares Maximum auf.

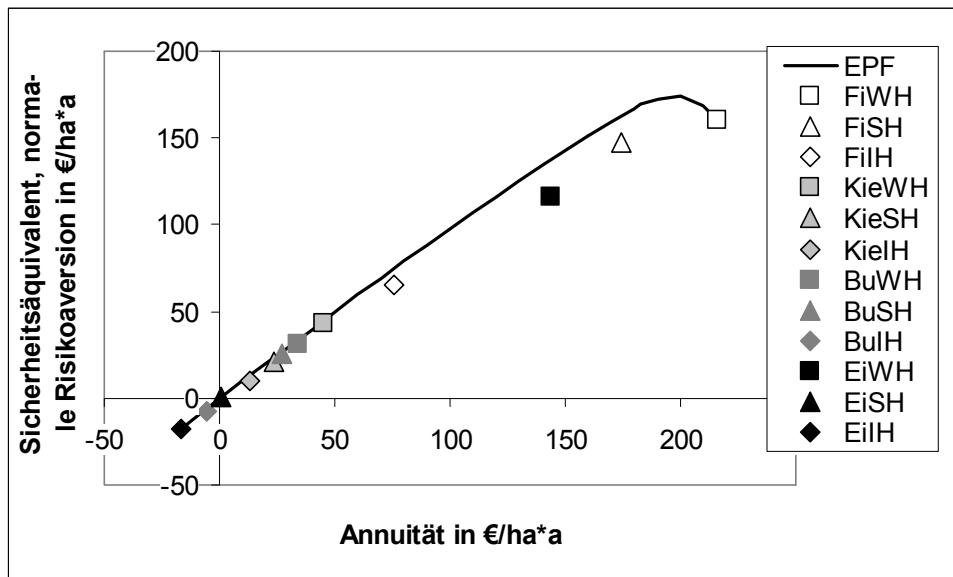


Abbildung 18 Nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Zusätzlich sind in diesem Fall gewisse Diversifikationseffekte festzustellen, haben einige Einzelbestände doch erkennbar geringere Sicherheitsäquivalente als Mischungen mit gleicher Annuität (vgl. Abbildung 18). Dies ist besonders bei den Beständen mit hohen Annuitäten, z.B. dem Fichtensäge- und Eichenwertholzbestand, zu erkennen. Auch für die „optimierten“ Bestände verändert sich die Zusammensetzung der effizienten Portfolios nicht gegenüber der Betrachtung der Standardabweichung, so dass hier auf Abbildung 16 verwiesen wird.

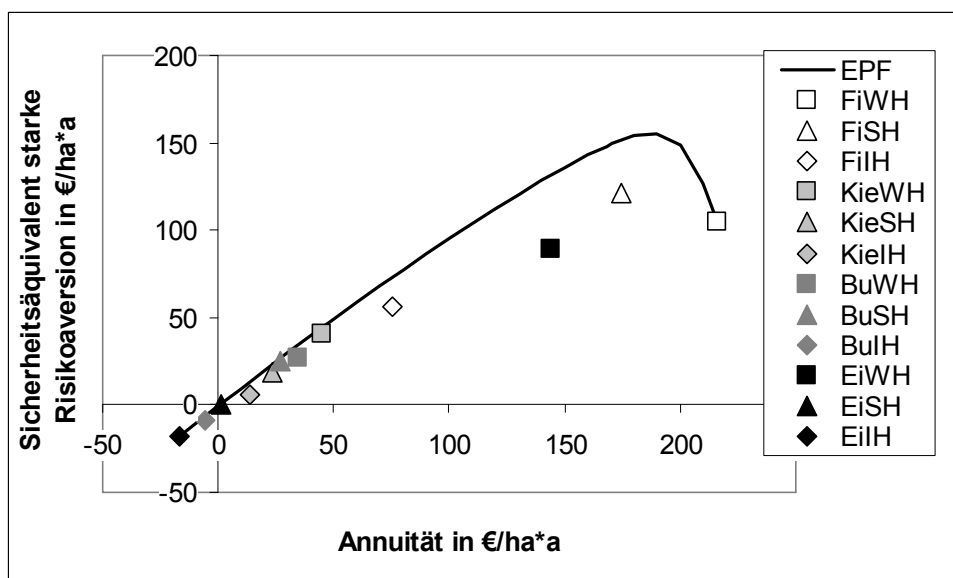


Abbildung 19 Nach dem Sicherheitsäquivalent für starke Risikoaversion effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Aufgrund der größeren Gewichtung der Streuung bei starker Risikoaversion und der damit verbundenen deutlicheren Risikoabschlägen, sind die Sicherheitsäquivalente der Portfolios, besonders aber der Einzelbestände deutlich geringer als bei normaler Risikoaversion (vgl. Abbildung 19). Gleichzeitig verschiebt sich das Optimum hin zu geringeren Annuitäten (hier

ca. 185 €/ha*a). Dennoch zeigt sich die Überlegenheit einer Investition in eine Mischung, da die Einzelbestände, deutlich geringere Sicherheitsäquivalente aufweisen als die effizienten Portfolios. Damit sind hier verglichen mit normaler Risikoaversion stärkere Diversifikationseffekte zu erkennen.

5.2.1.2 Anwendung von Downside-Risikomaßen

Nachdem die bisherigen Portfoliobetrachtungen auf die mit Hilfe der Formeln von MARKOWITZ bestimmten Annuitäten und Standardabweichungen zurückgegriffen haben, wurden die folgenden Downside-Risikomaße alle am vollständigen Datensatz, den die Monte-Carlo-Simulation mit ihren 10.000 Wiederholungen lieferte, analysiert. Dazu ist ein wesentlich größerer Rechenaufwand erforderlich, es müssen aber keine Verteilungen unterstellt werden. Die Korrelationen zwischen den Annuitäten werden dabei direkt berücksichtigt, da stets die Annuitäten einer Wiederholung zu einer Portfolioannuität verrechnet werden. So gleichen z.B. negativ korrelierte Annuitäten Schwankungen gegenseitig aus, während positiv korrelierte die Abweichungen der Portfolioannuität erhöhen. Anhand der so berechneten 10.000 Portfolioannuitäten wurden anschließend die Portfolioanteile jeweils so verändert bis die Zusammensetzung optimal war.

5.2.1.2.1 Nach der Downside-Wahrscheinlichkeit effiziente Portfolios

Die in diesem Kapitel betrachteten LPM_0 entsprechen der Verlustwahrscheinlichkeit, da der Grenzwert bzw. das Target gleich einer Annuität von Null gesetzt wurde. Auch für die Verlustwahrscheinlichkeit wurden effiziente Portfolios bzw. solche mit geringster Verlustwahrscheinlichkeit für Annuitäten zwischen den Einzelinvestitionen mit geringster und höchster Annuität ermittelt (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 21).

Konventionell erzogene Bestände

Die nach der Verlustwahrscheinlichkeit effizienten Portfolios decken den ganzen Rahmen möglicher Verlustwahrscheinlichkeiten ab (vgl. Abbildung 20).

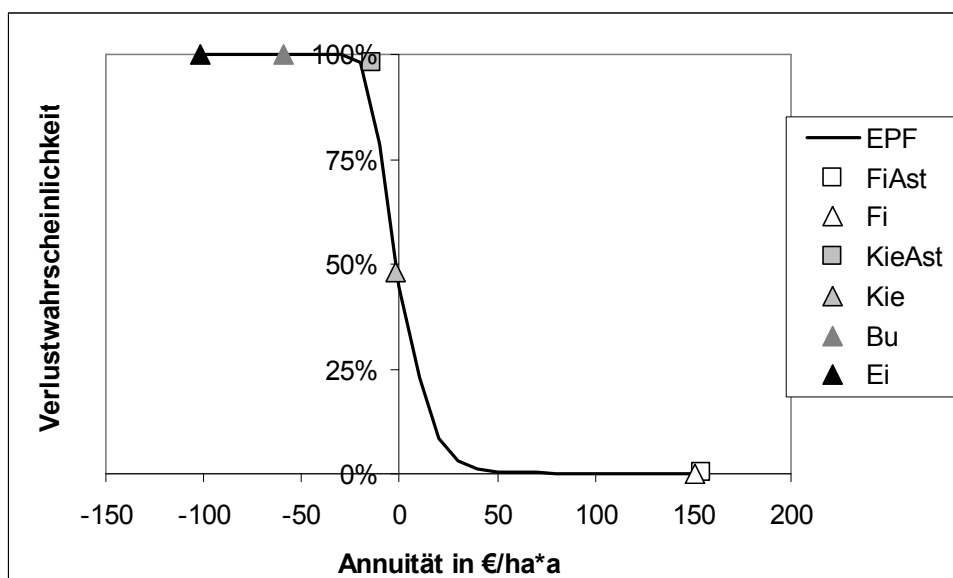


Abbildung 20 Nach der Verlustwahrscheinlichkeit effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzogenen Einzelbestände

Bereits im Bereich negativer Annuitäten beginnt die Verlustwahrscheinlichkeit zu sinken und bei einer Annuität von 0 €/ha*a liegt die Verlustwahrscheinlichkeit schon unter 50 % (vgl. Abbildung 20). Allerdings ist zu beobachten, dass die einzelnen Bestände nahezu auf der Linie der effizienten Portfolios liegen. Dies bedeutet, dass keine großen Diversifikationseffekte festgestellt werden können. Weiter ist zu erkennen, dass sich die beiden Fichtenbestände sowohl hinsichtlich Annuität als auch Verlustwahrscheinlichkeit kaum unterscheiden. Zudem existieren für einen weiten Annuitätenbereich Portfolios mit einer Verlustwahrscheinlichkeit von annähernd 0 %.

„Optimierte“ Bestände

Beginnend beim Eichenindustrieholzbestand sinkt die Verlustwahrscheinlichkeit der Portfolios bereits im Bereich negativer Annuitäten bis auf 50 % ab (vgl. Abbildung 21). Für die höchsten Annuitäten steigt die Verlustwahrscheinlichkeit allerdings wieder sichtbar an.

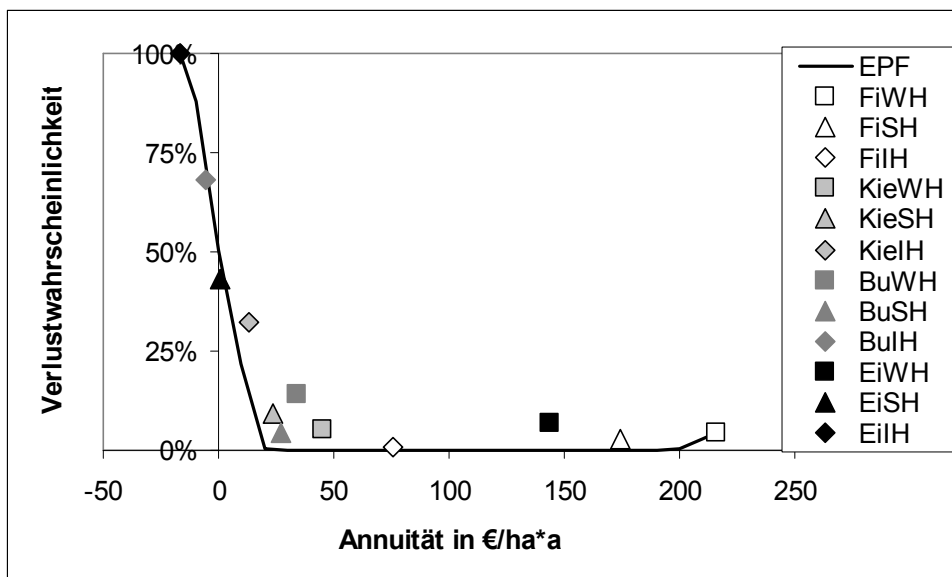


Abbildung 21 Nach der Verlustwahrscheinlichkeit effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Es zeigt sich, dass in einem größeren Bereich Portfolios mit minimalen Verlustwahrscheinlichkeiten vorhanden sind (vgl. Abbildung 21). Im Gegensatz zu den konventionell erzeugten Beständen weisen hier zahlreiche Einzelbestände deutlich höhere Verlustwahrscheinlichkeiten auf als Portfolios gleicher Annuität. Besonders deutlich ist dies am Buchenwertholzbestand zu erkennen, der als Einzelinvestition eine Verlustwahrscheinlichkeit von über 14 % hat, während sie für ein Portfolio gleicher Annuität annähernd Null ist. Somit sind auch beim Kriterium Verlustwahrscheinlichkeit Diversifikationseffekte und damit positive Effekte einer Mischung zu erkennen.

5.2.1.2.2 Nach dem Value at Risk effiziente Portfolios

Nach der Darstellung der Ergebnisse zur Verlustwahrscheinlichkeit als einer Variante des LPM_0 , wird im Anschluss das damit eng verknüpfte Value at Risk (VaR)-Kriterium als eine weitere, weit verbreitete Möglichkeit zur Darstellung des Downside-Risikos näher betrachtet.

Im Unterschied zu den LPM_0 werden für dieses Kriterium die Portfolios mit höchstem VaR bestimmt.

Konventionell erzeugte Bestände

Die effizienten Portfolios aus den konventionell erzeugten Beständen liegen auf einer leicht gekrümmten Linie, die erst kurz vor der Annuität der beiden Fichtenbestände ihr Maximum erreicht (vgl. Abbildung 22) und dann hin zu den Werten der Fichtenbestände abknickt. Im Optimum ist der VaR des Portfolios dennoch sichtbar höher als bei den beiden Fichtenbeständen, auch wenn sich die Annuitäten kaum unterscheiden. Die Kiefernbestände liegen nahezu auf der Linie der effizienten Portfolios, so dass keine besonders großen Diversifikationseffekte zu erkennen sind. Beim Buchenbestand zeigen sich hingegen wiederum deutliche Effekte der Mischung. So liegt der VaR des effizienten Portfolios um etwa 20 €/ha*a höher als bei alleiniger Investition in den Buchenbestand.

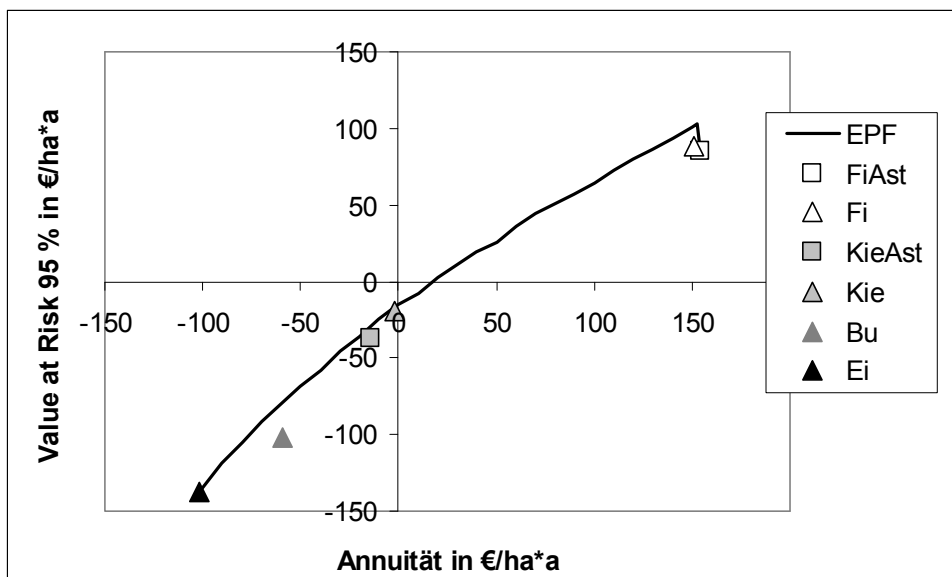


Abbildung 22 Nach dem VaR (95%) effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzeugten Einzelbestände

Betrachtet man die Zusammensetzung der effizienten Portfolios, fallen sofort die stark schwankenden Anteile der einzelnen Bestände auf (vgl. Abbildung 23). Dies betrifft besonders die Laubholzbestände, was jedoch größtenteils von den ungeasteten Kiefernbeständen abgepuffert wird.

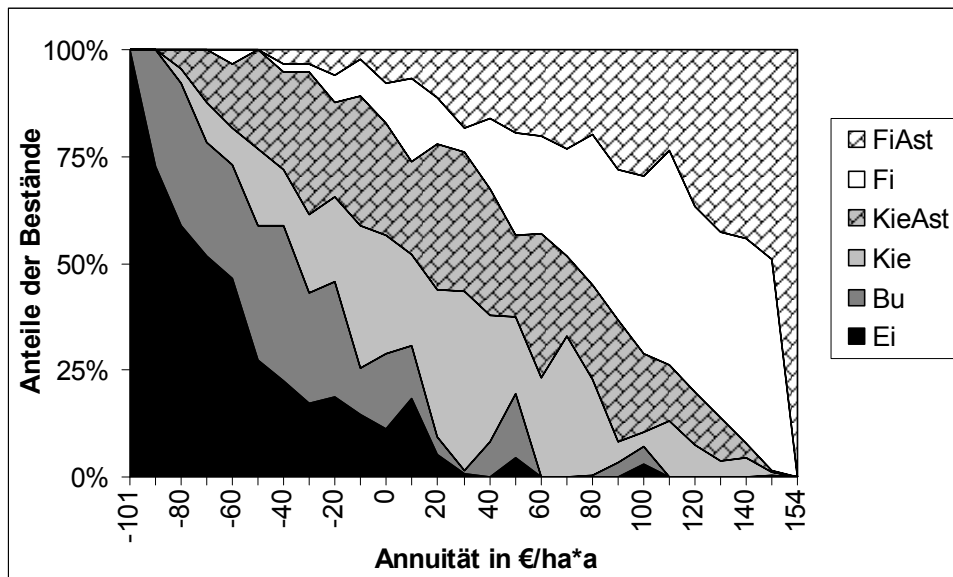


Abbildung 23 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie

Im Vergleich zur Portfoliooptimierung anhand der Standardabweichung sind beim VaR die Laubholzbestände und der geastete Kiefernbestand auch an effizienten Portfolios mit deutlich höheren Annuitäten beteiligt. So sind beide Kiefernbestände und der Buchenbestand Teil des effizienten Portfolios für eine Annuität von 150 €/ha*a, der Eichenbestand noch bei einer Annuität von 100 €/ha*a. Auch die Anteile der einzelnen Bestände ändern sich gegenüber den nach dem Ansatz von MARKOWITZ effizienten Portfolios deutlich. So verschieben sich für hohe Annuitäten große Anteile von den ungeasteten hin zu den geasteten Fichtenbeständen. Für Annuitäten zwischen 60 und 130 €/ha*a reduziert sich der Anteil der ungeasteten Kiefernbestände, größtenteils zugunsten der geasteten Kiefernbestände. Auch für geringere Annuitäten sinkt der Anteil der ungeasteten Kiefernbestände deutlich, während insbesondere die Anteile der Laubholzbestände ansteigen.

Diese Veränderungen können zum einen auf die direkte Verwendung der Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation und damit den Verzicht auf die Normalverteilungsannahme zurückgeführt werden. Zum anderen wird nicht die Standardabweichung sondern der VaR betrachtet.

„Optimierte“ Bestände

Das vorteilhafte Portfolio bestehend aus „optimierten“ Beständen erreicht nicht den maximalen VaR bei Mischung konventionell bewirtschafteter Bestände (vgl. Abbildung 24 und Abbildung 22), weist dafür allerdings eine wesentlich höhere Annuität auf.

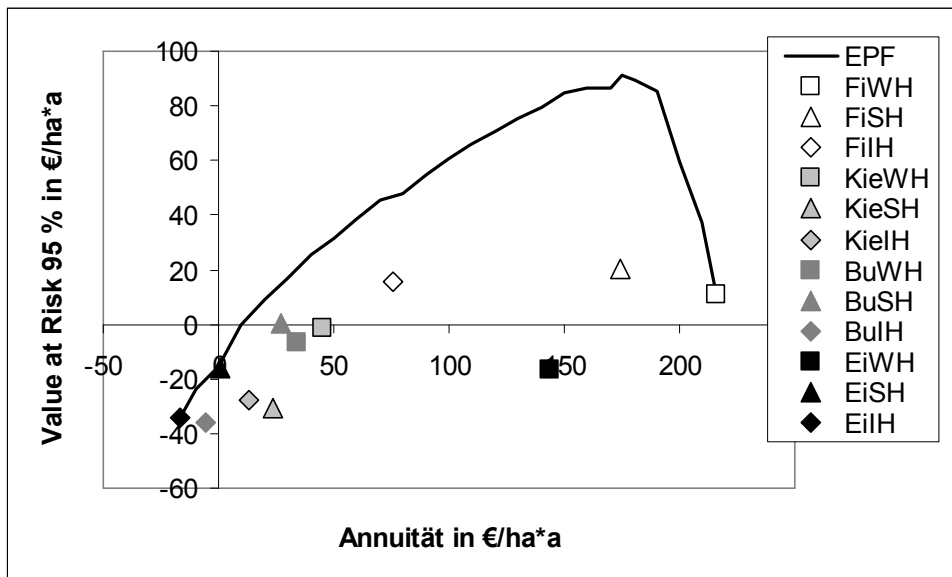


Abbildung 24 Nach dem VaR (95%) effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Vergleicht man die Werte des VaR der Einzelbestände und der effizienten Portfolios gleicher Annuität, zeigen die Mischungen wesentlich höhere Werte (vgl. Abbildung 24), beispielsweise ist bei gleicher Annuität der VaR eines Portfolios um mehr als 70 €/ha*a größer als der des Fichtensägeholzbestandes. Somit sind für die Mischung „optimierter“ Bestände auch in Bezug auf den VaR deutlich positive finanzielle Effekte offensichtlich. Diese Diversifikationseffekte sind zudem deutlich größer als bei Kombination konventionell erzeugter Bestände.

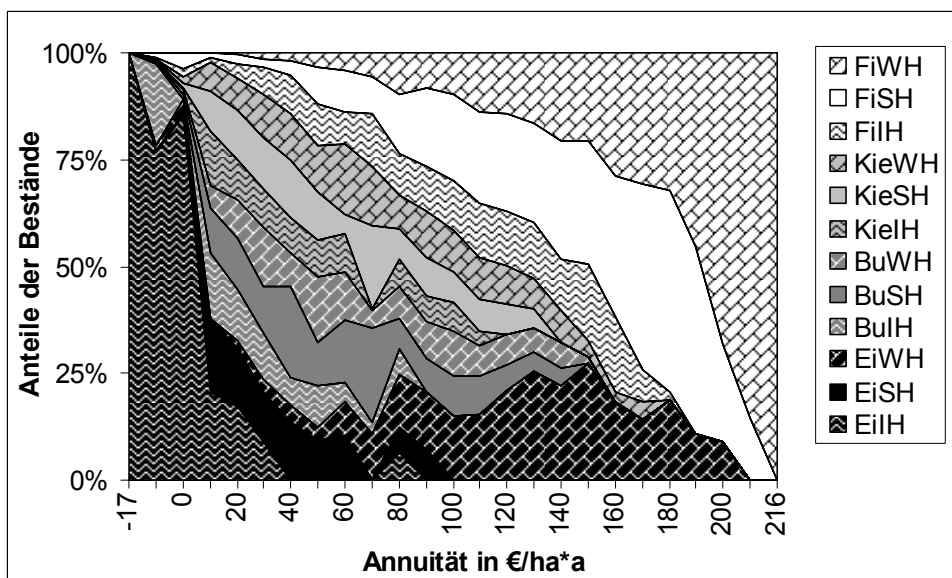


Abbildung 25 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie¹⁷

¹⁷ Das optimale Portfolio ist hier in seiner Zusammensetzung nicht dargestellt. Die Zusammensetzungen wurden nur für Annuitätenschritte von 10 €/ha*a zwischen den zwei Bestände mit höchster und geringster Annuität angegeben. Das unregelmäßige Einfügen einzelner dazwischen liegender Portfolios führt zu optisch unplausiblen Effekten.

Wie auch bei den effizienten Mischungen konventionell erzeugter Bestände schwanken die Anteile der einzelnen Bestände zum Teil deutlich (vgl. Abbildung 25). Die effizienten Portfolios mit höchsten Annuitäten werden vom Fichtenwertholz- und Fichtensägeholzbestand gebildet. Alle anderen Bestände sind Teil von Portfolios mit wesentlich höheren Annuitäten als bei Betrachtung der Standardabweichung. Die Veränderungen der Anteile der einzelnen Bestände gegenüber der Optimierung auf Basis der Portfoliotheorie von MARKOWITZ zeigen ein sehr heterogenes Bild mit vielen kleinen Veränderungen und wechselnden Vorzeichen. Bedeutende Veränderungen ergeben sich bei den niedrigsten Annuitäten (vgl. Abbildung 25) mit einem starken Anstieg des Anteils der Eichenindustrieholzbestände und einem deutlich geringeren Anteil der Eichensägeholzbestände. Für mittlere Annuitäten sinkt daneben der Anteil der Kiefernwertholzbestände deutlich, teilweise auch der Anteil der Buchensägeholzbestände.

5.2.1.2.3 Nach dem Downside-Erwartungswert effiziente Portfolios

Nach Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit als Downside-Wahrscheinlichkeit und des damit eng verknüpften VaR, werden in den nächsten zwei Kapiteln mit dem Downside-Erwartungswert (LPM_1) und dem Expected Shortfall wiederum zwei sehr ähnliche Risikomaße beleuchtet. Dabei wird die Höhe der Unterschreitungen eines Schwellenwertes berücksichtigt. Auch für diese Kennzahlen wurden für die unterschiedlichen Annuitäten die effizienten Portfolios bestimmt. Dabei wurden die LPM_1 minimiert, wohingegen beim Expected Shortfall, analog zum VaR, möglichst hohe Werte angestrebt wurden.

Konventionell erzeugte Bestände

Die konventionell erzeugten Bestände liegen allesamt etwa auf der Linie der nach den LPM_1 für die unterschiedlichen Annuitäten effizienten Portfolios (vgl. Abbildung 26). Größere Diversifikationseffekte sind somit nicht zu erkennen. Allerdings werden für einen relativ breiten Annuitätenbereich Downside-Erwartungswerte von oder nahe dem geringstmöglichen Wert von Null erzielt.

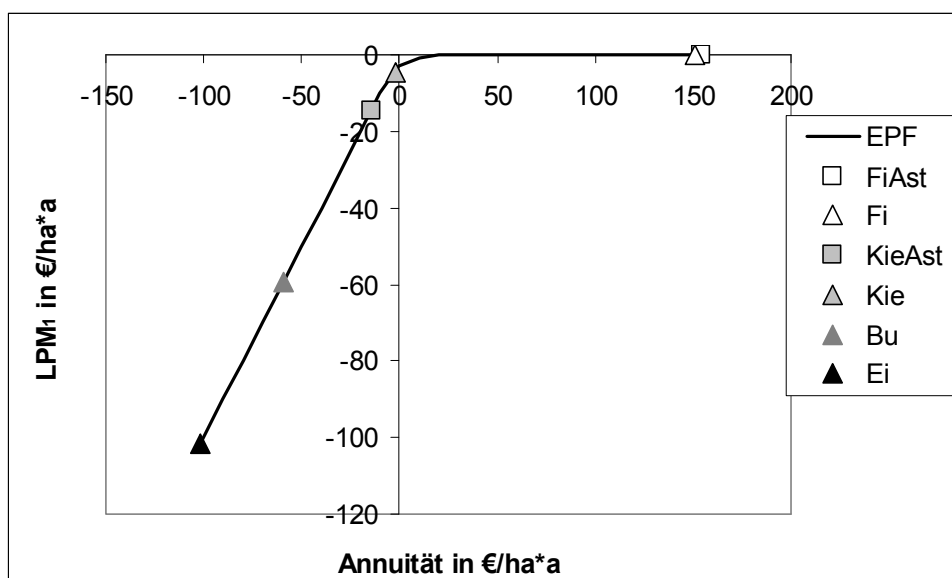


Abbildung 26 Nach den LPM_1 effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzeugten Einzelbestände

Im Bereich negativer Annuitäten ist mit zunehmenden Annuitäten ein linearer Anstieg der LPM_1 verbunden (vgl. Abbildung 26). Dies gilt so lange, wie die Verlustwahrscheinlichkeit 100 % beträgt. Sinkt diese ab, verlangsamt sich der Anstieg der LPM_1 und nähert sich einem Wert von Null an, der von den Portfolios fast bis zu den wiederum als beinahe identisch abgebildeten konventionell erzeugten Fichtenbeständen beibehalten wird.

„Optimierte“ Bestände

Die bei weitem nicht so negativen Downside-Erwartungswerte der „optimierten“ Bestände steigen für niedere Annuitäten zuerst relativ schnell an, ehe sie für eine weite Annuitätenspanne Null oder fast Null betragen (vgl. Abbildung 27). Allerdings sinken die LPM_1 für hohe Annuitäten wieder ab, wie dies auch schon bei anderen Kennzahlen zu beobachten war.

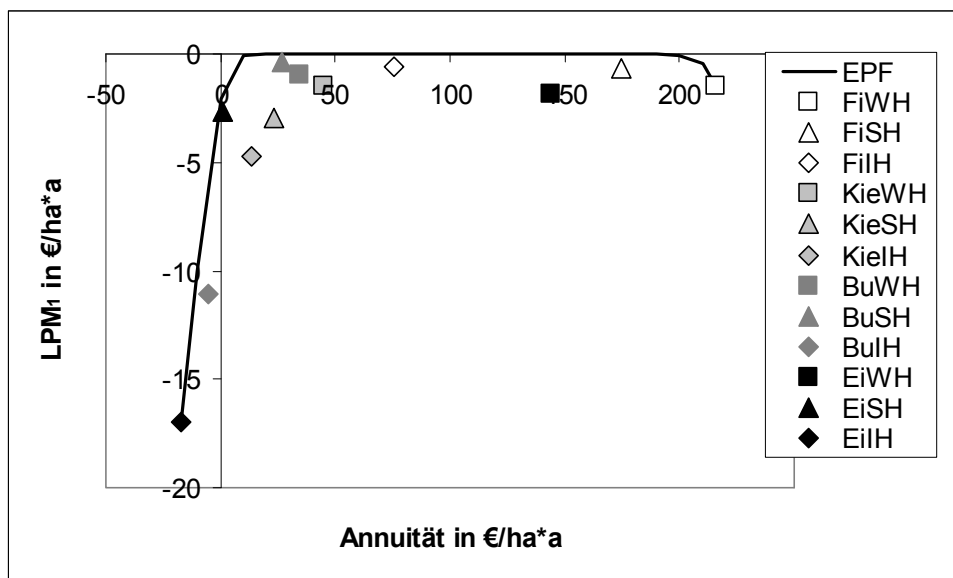


Abbildung 27 Nach den LPM_1 effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Durch die Portfoliobildung können, verglichen mit den Einzelbeständen, bei gleichen Annuitäten deutlich geringere Downside-Erwartungswerte erzielt werden (vgl. Abbildung 27). Damit sind die Diversifikationseffekte um ein vielfaches stärker als bei Mischung der konventionell erzeugten Bestände.

5.2.1.2.4 Nach dem Expected Shortfall effiziente Portfolios

Mit dem Expected Shortfall wird im Folgenden eine Variation der LPM_1 betrachtet, die stark an das Konzept des VaR angelehnt ist, da dieser den Schwellenwert bildet. Alle den VaR unterschreitenden Annuitäten werden für den Expected Shortfall gemittelt, so dass ein Downside-Erwartungswert über die jeweils 5 % schlechtesten Ergebnisse kalkuliert wird.

Konventionell erzeugte Bestände

Die Linie auf der die effizienten Portfolios liegen, also die mit dem höchsten Expected Shortfall für bestimmte Annuitäten, ist stärker durchgebogen als bei der Betrachtung des VaR (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 28). Auch zeigen z.B. die Kiefernbestände größere Diversifikationseffekte als beim VaR, erkennbar daran, dass sie sichtbar unter der Linie der effizienten Portfolios liegen.

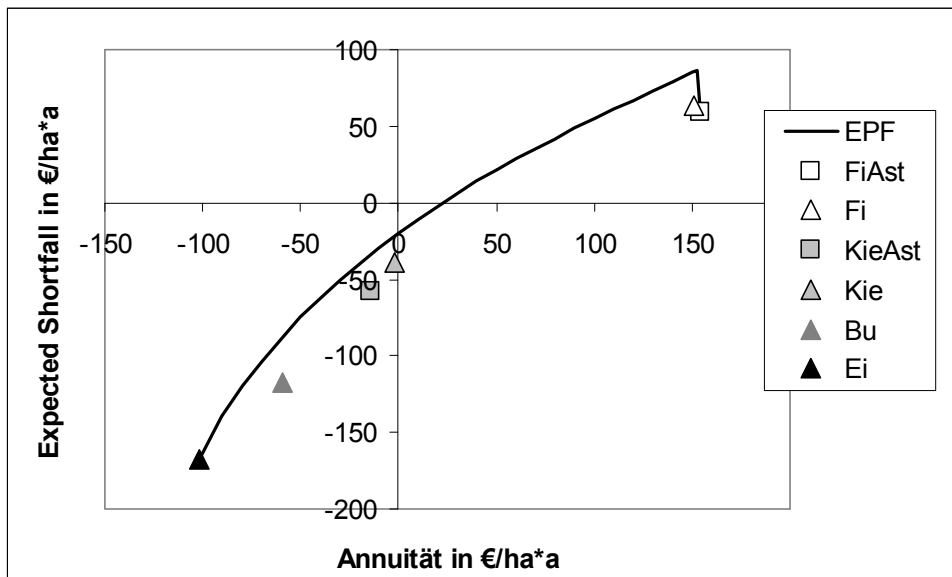


Abbildung 28 Nach dem Expected Shortfall effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzeugten Einzelbestände

Wie auch beim VaR zeigt sich für etwas geringere Annuitäten als die der Fichtenbestände ein deutlicher Knick in der Linie der effizienten Portfolios, wenngleich ausgeprägter als beim VaR (vgl. Abbildung 28). Somit ist auch die Risikoreduktion bei der Analyse des Expected Shortfall deutlich größer. Insgesamt zeigen sich in dieser Betrachtung die positiven Effekte einer Mischung deutlicher als beim VaR.

„Optimierte“ Bestände

Eine Betrachtung der nach dem Expected Shortfall effizienten Portfolios aus finanziell „optimierten“ Beständen führt zu einer durchgebogenen Optimumkurve (vgl. Abbildung 29). Gleichzeitig verschiebt sich gegenüber der Betrachtung des VaR das Optimum um etwa 10 €/ha*a hin zu niedrigeren Annuitäten.

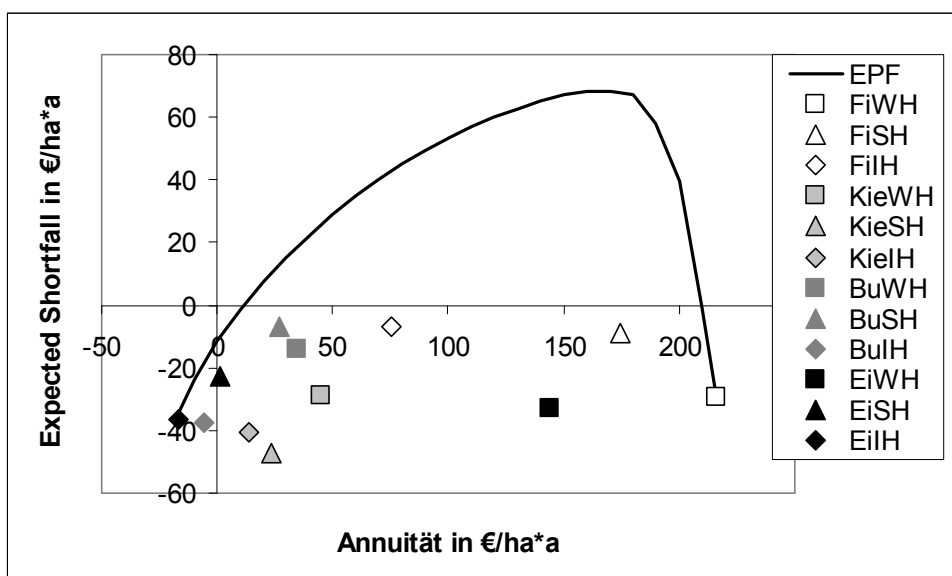


Abbildung 29 Nach dem Expected Shortfall effiziente Portfolios und Lage der „optimierten“ Einzelbestände

Besonders eindrucksvoll sind in Abbildung 29 die positiven Effekte einer Mischung zu erkennen. Die sich zeigenden Diversifikationseffekte sind wesentlich größer als bei den konventionell erzeugten Beständen. Obwohl kein einziger Einzelbestand über einen positiven Expected Shortfall verfügt, erreichen die effizienten Portfolios hohe positive Werte über einen sehr weiten Annuitätsbereich, der auch deutlich breiter als bei den konventionell bewirtschafteten Beständen ist. Allerdings erreichen die Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen höhere Werte des Expected Shortfalls und sind damit risikoärmer. Auch der ungeastete Fichtenbestand alleine erreicht fast den Expected Shortfall der hier vorteilhaften Mischung.

5.2.1.2.5 Nach der Downside-Varianz effiziente Portfolios

Nach der Portfoliobetrachtung über den klassischen MARKOWITZ-Ansatz und der Anwendungen der LPMs der nullten und ersten Ordnung inklusive damit in Verbindung stehender praxisrelevanter Spielarten, sollen die Portfolios im Folgenden anhand der Downside-Varianz näher beleuchtet werden. Dabei werden die Portfolios mit den jeweils geringstmöglichen Downside-Varianzen ermittelt.

Konventionell erzeugte Bestände

Im Bereich negativer Annuitäten zeigt sich ein rapider Rückgang der Downside-Varianz mit ansteigenden Annuitäten (vgl. Abbildung 30). Kurz nach dem Erreichen positiver Annuitäten sinken die LPM_2 fast auf Null, um dann für einen weiten Annuitätenbereich auf diesem Niveau zu bleiben. Hier nicht erkennbar, steigt die Downside-Varianz beginnend bei Annuitäten etwas unter denen des geasteten Fichtenbestandes wieder minimal an.

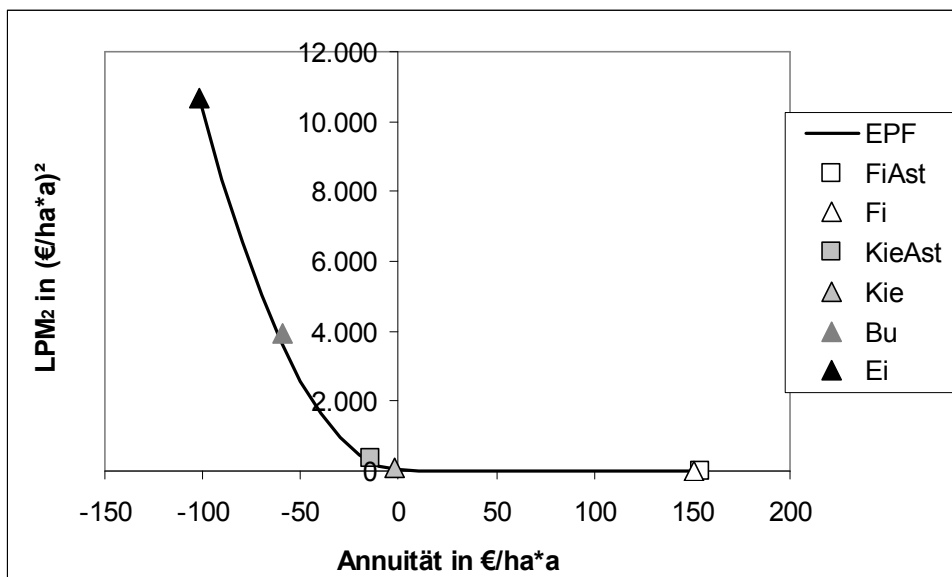


Abbildung 30 Nach den LPM_2 effiziente Portfolios und Lage der konventionell erzeugten Einzelbestände

Die konventionell bewirtschafteten Bestände liegen, wie schon bei den LPMs der nullten und ersten Ordnung oder auch für die Betrachtung des Sicherheitsäquivalents, direkt auf der Linie der effizienten Portfolios. Somit sind große positive Diversifikationseffekte nicht erkennbar (vgl. Abbildung 30). Allerdings sind mit den Portfolios über weite Annuitätenbereiche minimale Downside-Varianzen erzielbar.

„Optimierte“ Bestände

Auch für die Portfolios aus den finanziell „optimierten“ Beständen reduzieren sich die LPM_2 im Bereich negativer Annuitäten deutlich (vgl. Abbildung 31). Allerdings ist das Ausgangsniveau wesentlich geringer als im Falle der konventionell bewirtschafteten Bestände. Mit steigenden Annuitäten sinkt die Downside-Varianz schnell auf Null oder annähernd Null und hält diesen Wert bis hin zu Portfolios mit hohen Annuitäten bei. Für sehr hohe Annuitäten steigt die Downside-Varianz wieder deutlich an.

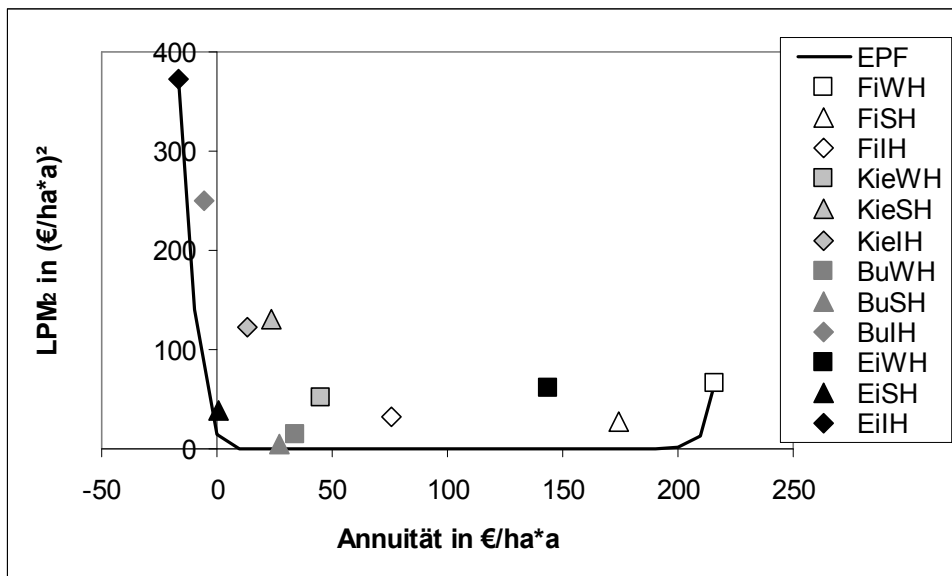


Abbildung 31 Nach den LPM_2 effiziente Portfolios und Lage der finanziell „optimierten“ Einzelbestände

Im Vergleich zu den konventionell behandelten Beständen, zeigen sich hier gegenüber den Einzelbeständen deutliche Reduktionen der LPM_2 durch Mischungsbildung (vgl. Abbildung 31). So bewirkt beispielsweise eine gemischte Investition, verglichen mit dem einzelnen Kiefern sägeholzbestand, bei gleicher Annuität eine Reduktion der Downside-Varianz von über 100 Einheiten. Damit zeigen sich deutlich größere Diversifikationseffekte als bei den konventionell bewirtschafteten Beständen.

5.2.2 Vergleich der optimalen Portfolios

Nach Darstellung der für unterschiedliche Annuitäten effizienten Portfolios und ihrer Zusammensetzung werden in diesem Kapitel die nach verschiedenen Kennzahlen insgesamt vorteilhaften Portfolios präsentiert. Wird z.B. bei der Downside-Varianz der geringstmögliche Risikowert über einen weiteren Annuitätenbereich erzielt, wurde das Portfolio als optimal bestimmt, das für diesen Wert der Risikomeßzahl die höchste Annuität aufweist. Die für das optimale Portfolio angegebenen Veränderungen von Annuität und Risiko beziehen sich stets auf die Einzelinvestition mit höchster Annuität, für die sich ein risikoneutraler Investor entscheiden würde. Dies ist bei den konventionell erzeugten Beständen der geastete Fichtenbestand und bei den finanziell „optimierten“ Beständen der Fichtenwertholzbestand.

Konventionell erzeugene Bestände

Das nach der Standardabweichung optimale Portfolio, bestehend aus konventionell erzeugten Beständen, enthält alle sechs möglichen Bestände (vgl. Tabelle 40). Dominiert wird dieses Portfolio allerdings von den nach diesem Kriterium besonders risikoarmen Kiefernbeständen (vgl. Tabelle 36), die insgesamt fast 70 % abdecken. Alle anderen vorteilhaften Portfolios enthalten nur Fichtenbestände. Diese vorteilhaften Mischungen setzten sich stets etwa hälftig aus dem geasteten und dem ungeasteten Bestand zusammen, wobei die Anteile des geasteten Fichtenbestandes zwischen 45 % und 59 % und die des ungeasteten Bestandes entsprechend zwischen 41 % und 55 % schwanken. Besteht die optimale Mischung für normale Risikoaversion noch aus einer hälftigen Mischung, hat für starke Risikoaversion der ungeastete Fichtenbestand ein etwas größeres Gewicht. Im optimalen Portfolio nach der Verlustwahrscheinlichkeit hat der geastete Fichtenbestand mit 57 % den insgesamt zweithöchsten Anteil. Mit fast 60 % ist er lediglich in den nach den LPMs erster als auch zweiter Ordnung vorteilhaften Portfolios größer. Die Portfolios nach dem VaR und dem Expected Shortfall zeigen dagegen eine annähernd hälftige Mischung der beiden Fichtenbestände mit einem leichten Übergewicht bei den ungeasteten Beständen.

Tabelle 40 Nach verschiedenen Risikokennzahlen optimale Portfolios, bestehend aus konventionell behandelten Beständen (Stabw. = Standardabweichung; Säq = Sicherheitsäquivalent; n.R. = normale Risikoaversion; s.R. = starke Risikoaversion; die Referenz für die angegebenen Veränderungen ist der Bestand mit höchster Annuität)

Betrachtete Risikokennzahl	Stabw. in €/ha*a	Säq in €/ha*a (n.R.)	Säq in €/ha*a (s.R.)	LPM ₀ in %	VaR in €/ha*a	LPM ₁ in €/ha*a	Expected Shortfall in €/ha*a	LPM ₂ in (€/ha*a) ²
Annuität in €/ha*a	-22	153	152	153	152	153	152	153
Reduktion der Annuität in €/ha*a	-176	-2	-2	-1	-2	-1	-2	-1
Reduktion der Annuität in %	-114%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Wert der Risikokennzahl	8	148	144	0,0%	103	0,00	86	0
absolute Veränderung der Risikokennzahl	-37	4	9	-0,3%	17	0,07	27	-3
relative Veränderung der Risikokennzahl	-83%	3%	7%	-100%	20%	100%	46%	-100%
Anteile								
FiAst	2%	51%	45%	57%	47%	59%	47%	59%
Fi	2%	49%	55%	43%	53%	41%	53%	41%
KieAst	29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Kie	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bu	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ei	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Es ist festzustellen, dass das vorteilhafte Portfolio nach der Standardabweichung die geringste und zudem eine deutlich negative Annuität aufweist (vgl. Tabelle 40). Im Gegensatz dazu

zeigen alle anderen optimalen Portfolios wesentlich höhere und sehr ähnliche Annuitäten. Bei ihnen kann durch eine geringe Absenkung der Annuität das Risiko deutlich gesenkt werden. Zwischen der optimalen Mischung nach dem Sicherheitsäquivalent für hohe Risikoaversion mit geringster und den vorteilhaften Portfolios nach den LPMs erster bzw. zweiter Ordnung mit höchster Annuität liegen gerade einmal 0,47 €/ha*a. Dennoch unterscheiden sich die Anteile der zwei beteiligten Fichtenbestände deutlich. Der Anteil des geasteten Fichtenbestandes vergrößert sich mit steigender Annuität um 14 Prozentpunkte, während der Anteil des ungeasteten Fichtenbestandes entsprechend absinkt. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass die vorteilhaften Portfolios für den VaR und den Expected Shortfall nahezu identisch sind. Übereinstimmende Portfolios sind daneben für die LPM₁ und die LPM₂ vorteilhaft. Diese beiden Portfolios zeigen gleichzeitig die höchste Annuität und den höchsten Anteil geasteter Bestände.

„Optimierte“ Bestände

Die drei nach der Standardabweichung risikoreichsten Bestände, die allerdings auch die höchsten Annuitäten aufweisen, sind im Gegensatz zu allen anderen „optimierten“ Beständen nicht am vorteilhaften Portfolio beteiligt (vgl. Tabelle 41). Im Gegensatz zum nach der Standardabweichung optimalen Portfolio aus konventionell behandelten Beständen wird dieses hier nicht von Kiefern, sondern von Eichenbeständen dominiert und auch die Buchenbestände haben einen größeren Anteil als die Kiefernbestände. Alle anderen optimalen Portfolios bestehen fast ausschließlich aus Fichten- und Eichenwertholz- sowie Fichtensägeholzbeständen, teilweise ergänzt durch Fichtenindustrieholzbestände, so dass die drei bis vier Bestände mit höchster Annuität die optimalen Mischungen bilden.

In den vorteilhaften Portfolios für die Betrachtung des Sicherheitsäquivalents tritt für starke Risikoaversion der Eichenwertholzbestand zu den Fichtensäge- und -wertholzbeständen hinzu. Somit führt eine stärkere Risikoabneigung zu einem breiter gestreuten Portfolio. Am Portfolio mit minimaler Verlustwahrscheinlichkeit sind alle Bestände beteiligt, 92 % werden aber von den drei Fichtenbeständen und dem Eichenwertholzbestand eingenommen. Allerdings ist hier die Reduktion der Verlustwahrscheinlichkeit mit einer ganz deutlichen Absenkung der Annuitäten verbunden. Aus diesem Grund weist das vorteilhafte Portfolio aus „optimierten“ Beständen bei gleicher Verlustwahrscheinlichkeit eine deutlich geringere Annuität auf als das aus konventionell erzeugten Beständen. Im optimalen Portfolio bei Betrachtung des VaR gehen durch Rundung die geringen Anteile der Eichen- und Buchenindustrieholzbestände von 0,2 % sowie des Eichensägeholzbestandes mit 0,3 % verloren. Somit sind, ähnlich der Optimierung mit der Verlustwahrscheinlichkeit, zusätzliche Bestände mit geringen Anteilen am vorteilhaften Portfolio beteiligt.

Tabelle 41 Nach verschiedenen Risikokennzahlen optimale Portfolios, bestehend aus finanziell „optimierten“ Beständen (Stabw. = Standardabweichung; Säq = Sicherheitsäquivalent; n.R. = normale Risikoaversion; s.R. = starke Risikoaversion; die Referenz für die angegebenen Veränderungen ist der Bestand mit höchster Annuität)

Betrachtete Risikokennzahl	Stabw. in €/ha*a	Säq in €/ha*a (n.R.)	Säq in €/ha*a (s.R.)	LPM ₀ in %	VaR (95%) in €/ha*a	LPM ₁ in €/ha*a	Expected Shortfall in €/ha*a	LPM ₂ in (€/ha*a) ²
Annuität in €/ha*a	6	199	186	141	175	153	164	153
Reduktion der Annuität in €/ha*a	-210	-18	-30	-75	-41	-63	-52	-63
Reduktion der Annuität in %	-97%	-8%	-14%	-35%	-19%	-29%	-24%	-29%
Wert der Risikokennzahl	5	175	156	0,0%	91	0,00	68	0
absolute Veränderung der Risikokennzahl	-101	14	51	-4,4%	80	1,50	98	-67
relative Veränderung der Risikokennzahl	-95%	9%	49%	-100%	717%	100%	333%	-100%
Anteile								
FiWH	0%	58%	40%	26%	28%	23%	26%	23%
FiSH	0%	42%	45%	19%	39%	29%	33%	29%
FiiH	1%	0%	0%	24%	0%	25%	13%	24%
KieWH	6%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
KieSH	5%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
KieiH	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
BuWH	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
BuSH	11%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
BuiH	8%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
EiWH	0%	0%	16%	23%	33%	23%	28%	23%
EiSH	36%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%
EiiH	26%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%

Die Risikoreduktion beträgt für das risikominimale Portfolio nach der Standardabweichung 95 % und ist damit noch höher als bei den konventionell bewirtschafteten Beständen (vgl. Tabelle 40 und Tabelle 41). Die nach der Standardabweichung optimale Mischung aus finanziell optimierten Beständen hat zudem eine positive Annuität und ist damit deutlich höher als im entsprechenden Portfolio aus konventionell bewirtschafteten Beständen. Gleichzeitig ist auch die Standardabweichung und damit das Risiko geringer. Nichts desto trotz hat dieses Portfolio auch bei den Portfolios aus „optimierten“ Beständen die mit Abstand geringste Annuität. Bei den aus „optimierten“ Beständen zusammengesetzten vorteilhaften Portfolios sind die absoluten Reduktionen der Annuität, aber auch die Verbesserungen der Risikokennzahl gegenüber dem Bestand mit höchster Annuität deutlich größer als im Vergleichskollektiv.

Die nach dem Sicherheitsäquivalent für normale und starke Risikoaversion vorteilhaften Portfolios aus „optimierten“ Beständen zeigen höhere Annuitäten und zusätzlich auch höhere Sicherheitsäquivalente als die entsprechenden Mischungen aus konventionell erzeugten Beständen. Die vorteilhaften Portfolios aus „optimierten“ Beständen nach dem VaR und dem Ex-

pected Shortfall weisen auch deutlich höhere Annuitäten auf als die entsprechenden Portfolios aus konventionell behandelten Beständen, wobei jedoch der VaR bzw. der Expected Shortfall geringer sind und damit das Risiko höher ist.

Von dem nach den LPM₁ optimalen Portfolio unterscheidet sich die vorteilhafte Mischung nach den LPM₂ nur im Nachkommabereich, was hier durch Rundung überbetont wird. Interessanterweise haben die nach den LPM₁ und LPM₂ optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen und aus konventionell behandelten Beständen die gleichen Annuitäten und das gleiche Risiko (vgl. Tabelle 40 und Tabelle 41). Somit ist bei den optimalen Portfolios nach den LPMs erster und zweiter Ordnung kein positiver Effekt der durchgeführten bestandesweisen Optimierung zu erkennen. Allerdings ist bei den „optimierten“ Beständen neben Fichte mit dem Eichenwertholzbestand auch noch eine Laubholzkomponente beteiligt. Somit erreichen die vorteilhaften Mischungen nach den LPMs nullter, erster und zweiter Ordnung alle mit Null den geringstmöglichen Wert der Risikokennzahl.

Lässt man das nach der Standardabweichung vorteilhafte Portfolio beiseite, sind die Annuitätenunterschiede bei den Portfolios aus „optimierten“ Beständen mit über 40 €/ha*a deutlich größer als bei den Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen, so dass man von wirklichen Unterschieden sprechen kann. Gleichzeitig ist die Annuität fast aller vorteilhaften Portfolios aus „optimierten“ Beständen bei gleicher Risikokennzahl größer als bei denen, die aus konventionell erzeugten Beständen gebildet wurden. Auch das Risiko dieser vorteilhaften Portfolios ist zumeist mindestens genauso klein, wie bei den Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen. Somit zeigen auch die Betrachtungen der optimalen Portfolios die Attraktivität der finanziell „optimierten“ Bestände.

Es zeigt sich, nicht nur bei Betrachtung der optimalen Portfolios, sondern auch bei der vorhergehenden Analyse der effizienten Portfolios, dass sich die Portfolios je nach Risikokennzahl stark in ihrer Zusammensetzung unterscheiden. Besonders groß sind die Unterschiede zwischen den optimalen Portfolios nach der Standardabweichung und den anderen Kennzahlen. Während bei den vorteilhaften Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen die Annuitäten fast aller optimalen Portfolios nahezu identisch waren, wenngleich die Anteile der zwei Fichtenbestände deutlich variierten, sind diese Unterschiede bei den Portfolios aus optimierten Beständen wesentlich ausgeprägter. Es zeigt sich somit ein erheblicher, kritischer Einfluss der gewählten Risikokennzahl auf das optimale Portfolio.

5.2.3 Vergleich des parametrisch und aus Simulationsdaten ermittelten Value at Risk

Für den VaR gibt es, wie im Kapitel 4.4.2.2.1 dargestellt zwei Berechnungsmöglichkeiten. Neben dem gewählten Weg über die Einzelergebnisse der Monte-Carlo-Simulation existiert ein weniger rechenaufwendiger Weg über die Standardabweichung und den Mittelwert der Annuitäten, wobei allerdings die oftmals kritisierte Normalverteilungsannahme gilt. Ob sich aus den zwei Rechenwegen Unterschiede in der Beurteilung der Einzelbestände und den vorteilhaften Mischung ergeben, soll in diesem Kapitel geklärt werden. Dazu werden die aus den zwei Rechenwegen erzielten Ergebnisse gegenüber gestellt.

Ist die in den folgenden Tabellen dargestellte Differenz positiv, ist der aus den Simulationsergebnissen ermittelte VaR größer als der über den parametrischen Weg bestimmte. Somit wird in diesen Fällen das Risiko mit dem parametrischen Ansatz überschätzt. Die Schwelle zu den schlechtesten 5 % der Ergebnisse liegt in diesem Fall tatsächlich näher am Mittelwert als nach dem parametrischen Verfahren zu erwarten ist. Ist die Differenz negativ, wird mit dem parametrischen Ansatz das Risiko unterschätzt, so dass tatsächlich mehr als die erwarteten 5 % der errechneten Werte unterhalb der angegebenen Schwelle liegen. Folglich zeigt die Analyse der gesamten Simulationsergebnisse, dass dieser Schwellenwert niedriger sein müsste. Diese Unterschiede können zu erheblichen Fehleinschätzungen bei der Risikobewertung führen.

5.2.3.1 Vergleich des Value at Risk der Einzelbestände

Konventionell erzogene Bestände

Für die einzelnen konventionell bewirtschafteten Bestände zeigen sich im Vergleich der unterschiedlich ermittelten Werte des VaR sowohl positive, als auch negative Abweichungen (vgl. Tabelle 42). Besonders bei den Laubholzbeständen würde bei Anwendung des parametrischen Ansatzes das Risiko unterschätzt, wohingegen für die Kiefernbestände die Abweichung nur gering ist. Trotz dieser relativ kleinen Unterschiede bleibt die Reihung nach dem VaR erhalten.

Tabelle 42 Unterschiede in den Werten des VaR der konventionell bewirtschafteten Bestände für verschiedene Berechnungswege

Bestand	VaR 95% in €/ha*a		
	parametrisch ermittelt	aus Simulationsergebnissen	Differenz
FiAst	82	85	4
Fi	91	88	-3
KieAst	-36	-37	-1
Kie	-20	-20	1
Bu	-93	-102	-9
Ei	-133	-138	-5

„Optimierte“ Bestände

Die Unterschiede zwischen den parametrisch oder aus Simulationsergebnissen ermittelten Werten des VaR sind bei den „optimierten“ Beständen wesentlich größer (vgl. Tabelle 43). Dies führt zu einer deutlichen Änderung der Vorteilhaftigkeitsreihung. Lediglich der nach dem VaR vorteilhafte Bestand ist in beiden Fällen der Fichtensägeholzbestand.

Tabelle 43 Unterschiede in den Werten des VaR der „optimierten“ Bestände für verschiedene Berechnungswege

Bestand	VaR 95% in €/ha*a		
	parametrisch ermittelt	aus Simulations- ergebnissen	Differenz
FiWH	42	11	-30
FiSH	54	20	-34
FiIH	3	16	13
KieWH	11	-2	-12
KieSH	-11	-31	-19
KieIH	-32	-28	4
BuWH	-10	-7	3
BuSH	3	0	-3
BuIH	-36	-36	-1
EiWH	22	-16	-38
EiSH	-13	-16	-4
EiIH	-32	-34	-2

Besonders in den Wert- und Sägeholzbeständen von Fichte und Kiefer sowie im Falle des Eichenwertholzbestands wird mit dem parametrischen Ansatz das tatsächliche Risiko massiv unterschätzt (vgl. Tabelle 43). Gleichzeitig wird für den Fichtenindustrieholzbestand das Risiko mit dem parametrischen Ansatz deutlich überschätzt, da der aus den simulierten Daten ermittelte VaR wesentlich höher liegt. Aufgrund dieser deutlichen Abweichungen erscheint die Bewertung von Beständen nach dem parametrischen VaR eher ungeeignet.

5.2.3.2 Vergleich der optimalen Portfolios

Nachdem die einzelnen Bestände starke Abweichungen zwischen den Werten des VaR für die unterschiedlichen Ermittlungsmethoden zeigen, soll in diesem Kapitel geklärt werden, ob dies auch bei den optimalen Mischungen der Fall ist.

Konventionell erzogene Bestände

Die Annuitäten der Portfolios, die über beide Wege der VaR-Ermittlung optimiert wurden, sind nahezu gleich (vgl. Tabelle 44). Dennoch ist bei einer Optimierung mit den direkten Ergebnissen der Monte-Carlo-Simulation der Anteil des geasteten Fichtenbestandes 5 % höher und der Anteil des ungeasteten Fichtenbestandes entsprechend geringer, da stets nur die zwei Fichtenbestände an der optimalen Mischung beteiligt sind.

Tabelle 44 Optimale Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen bei unterschiedlichen Berechnungswegen des VaR

Bestand	VaR 95% in €/ha*a		
	parametrisch ermittelt	aus Simulationsergebnissen	Differenz
Annuität in €/ha*a	152	152	0
VaR in €/ha*a	104	103	-2
Anteile			
FiAst	42%	47%	5%
Fi	58%	53%	-5%
KieAst	0%	0%	0%
Kie	0%	0%	0%
Bu	0%	0%	0%
Ei	0%	0%	0%

Der Wert des VaR ist bei der Optimierung mit dem parametrischen Ansatz geringfügig größer als bei Verwendung der gesamten Simulationsergebnisse (vgl. Tabelle 44). Ermittelt man den tatsächlichen VaR des parametrisch optimierten Portfolios anhand der Simulationsergebnisse, ist dieser Wert um 2 €/ha*a geringer, so dass auch hier das Risiko etwas unterschätzt wird. Somit liegt der tatsächliche VaR dieses Portfolios etwas unter dem des über die gesamten Simulationsergebnisse optimierten Portfolios. Insgesamt ist der Unterschied zwischen den zwei Kalkulationswegen auf Portfolioebene nicht so groß wie bei manchen Einzelbeständen.

„Optimierte“ Bestände

Sowohl die Annuität, als auch der VaR des nach dem parametrischen Weg vorteilhaften Portfolios sind größer als bei Optimierung mit den gesamten Simulationsergebnissen (vgl. Tabelle 45). Allerdings sind stets die gleichen Bestände Teil des optimalen Portfolios, wenngleich die Anteile der zwei Fichtenbestände nach dem parametrischen Weg größer sind, was zulasten des Eichenwertholzbestandes geht.

Tabelle 45 Optimale Portfolios aus finanziell „optimierten“ Beständen bei unterschiedlichen Berechnungswegen des VaR

Bestand	VaR 95% in €/ha*a		
	parametrisch ermittelt	aus Simulations-ergebnissen	Differenz
Annuität in €/ha*a	180	175	-5
VaR in €/ha*a	97	91	-5
Anteile			
FiWH	31%	28%	-4%
FiSH	43%	39%	-4%
FiIH	0%	0%	0%
KieWH	0%	0%	0%
KieSH	0%	0%	0%
KieIH	0%	0%	0%
BuWH	0%	0%	0%
BuSH	0%	0%	0%
BuIH	0%	0%	0%
EiWH	25%	33%	8%
EiSH	0%	0%	0%
EiIH	0%	0%	0%

Berechnet man den VaR für das nach dem parametrischen Ansatz vorteilhafte Portfolio über die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation, sinkt der VaR über 5 €/ha*a ab. Damit liegt der tatsächliche VaR geringfügig unter dem Wert des über die gesamten Simulationsergebnisse optimierten Portfolios, wie dies auch schon bei den konventionell bewirtschafteten Beständen der Fall war. Demnach wird auch hier das Risiko mit dem parametrischen Ansatz unterschätzt, wobei die Unterschätzung jedoch weit geringer ist als für einen Teil der Einzelbestände (vgl. Tabelle 45). Somit zeigt sich, dass der parametrische Ansatz zur Ermittlung des VaR für „Baumartenportfolios“ durchaus geeignet erscheint, weniger dagegen für Einzelbestände.

5.3 Szenarioanalyse

„Nichts ist so beständig wie der Wandel“ - diese Weisheit muss auch oder besonders bei so langfristigen Entscheidungen wie der Festlegung der Baumartenanteile oder der Bestandesbehandlung stets mit berücksichtigt werden. Im Folgenden soll deshalb geklärt werden, wie sich verändernde Rahmenbedingungen oder Anforderungen an den Wald auf die Zusammensetzung und die finanziellen Kennzahlen optimaler Portfolios auswirken. Da es in diesem Kapitel besonders auf die Folgen geänderter Rahmenbedingungen ankommt, wurden die Portfolios, die ähnliche Veränderungen zeigen, zusammengefasst und gemeinsam dargestellt. Allerdings hat dieses Vorgehen zur Folge, dass für verschiedene Szenarien oder für die beiden Bestandeskollektive die Ergebnisse unterschiedlicher Risikokennzahlen gemeinsam präsentiert werden.

Neben einer Veränderung der Holzpreise und des Kalamitätsrisikos wird in den nächsten Kapiteln auch der Einfluss des gewählten Kalkulationszinssatzes untersucht. In diesen Kapi-

ten wird daher immer auch der Unterschied zur „Referenzvariante“ dargestellt, bei der es sich um Ergebnisse der Methodenstudie handelt. Diese Referenzvariante wird in den folgenden Tabellen stets grau hinterlegt. Zunächst wird dabei der Einfluss der Veränderungen auf die Einzelbestände und anschließend auf die vorteilhaften Portfolios analysiert, indem jeweils nur ein Einflussfaktor (z.B. der Holzpreis) geändert wird, während die anderen (z.B. Risiko, Zinssatz) konstant bleiben.

In der Analyse der Auswirkungen veränderter Holzpreise und Kalamitätsrisiken wurden die selben „optimierten“ Bestände berücksichtigt wie in der Methodenstudie. Diese wurden also nicht unter den veränderten Bedingungen erneut optimiert. So soll evaluiert werden, wie sich anhand der Erfahrungen der Vergangenheit optimierte Behandlungsvarianten unter geänderten Bedingungen finanziell verhalten und wie robust die einzelnen Bestände gegenüber exogenen Veränderungen sind. Lediglich bei der Betrachtung veränderter Zinsforderungen wurden die jeweils optimalen Umtriebszeiten und Durchforstungsarten berücksichtigt. Der Zinssatz ist eine vom Waldbesitzer beeinflussbare Größe und er kann sein Vorgehen entsprechend den Erfahrungen der Vergangenheit wählen. Zudem wurden in diesem dritten Szenario die in der Vergangenheit beobachteten Risiken beibehalten. Die konventionell erzeugten Bestände sind in allen Szenarien konstant.

5.3.1 Analyse veränderter Holzpreise

Im Folgenden soll geklärt werden, wie sich unterschiedliche Preisentwicklungen durch verschieden starke energetische Holznutzung auf Einzelbestände und optimale Portfolios auswirken. So gewinnt die energetische Nutzung vom Preismodell „Historisch“ über das Preismodell „Brennholz“ hin zum Preismodell „Energie“ an Bedeutung.

5.3.1.1 Veränderung der Kennwerte der Einzelbestände

Konventionell erzeugte Bestände

Sowohl die Höherbewertung der schwachen Sortimente im Preismodell „Brennholz“, als auch eine energiegehaltsabhängige Preisbildung wie im Preismodell „Energie“, führen bei allen Beständen zu einer Steigerung der Annuitäten (vgl. Tabelle 46). Für das Preismodell „Brennholz“ sind auch die Annuitäten der Kiefernbestände positiv, wobei sich die Steigerung der Annuitäten bei den Nadelholzbeständen etwa im gleichen Rahmen bewegt. Am größten ist der Anstieg für die Buchenbestände. Hier werden die in frühen Durchforstungen anfallenden Holzmengen und der hohe Industrieholzanteil zu deutlich höheren Preisen bewertet. Am geringsten ist die Steigerung bei den Eichenbeständen, wo die zu erhöhten Preisen verkäuflichen Durchforstungsanfänge wesentlich später geerntet und die Einnahmen von Stark- und Wertholz bestimmt werden. Zudem sind die Mengen des Sortiments IH+ insgesamt deutlich geringer als in den Buchenbeständen. Dennoch sind die Annuitäten der Laubholzbestände negativ, während die Fichtenbestände weiterhin mit großem Abstand überlegen sind. Gleichzeitig bietet der geastete Fichtenbestand noch einen kleinen finanziellen Vorteil.

Wesentlich stärker fallen die Steigerungen hin zum Preismodell „Energie“ aus, so dass alle Bestände positive Annuitäten aufweisen. Diese Zunahme ist für die ungeasteten Nadelholzbestände größer als für die geasteten, so dass diese finanziell vorteilhaft sind. Für die wertholz-

haltigen Bestände ist der Holzpreisunterschied zwischen den bisherigen Wertholzpreisen und den energiegehaltsabhängigen Holzpreisen geringer und die zusätzliche Investition in die Astung ermöglicht keine höheren Einnahmen. Für die Eichenbestände mit einem sehr hohen Wertholzanteil ist die Steigerung der Annuität am geringsten, nachdem bei energiegehaltensabhängiger Preisbildung das Wertholz der Eiche einen deutlich geringeren Preis erzielt als im Preismodell „Historisch“. Nach den Fichtenbeständen weisen die Buchenbestände die höchste Steigerung auf, die vom hohen Energiegehalt des Buchenholzes profitieren und so deutlich höhere Annuitäten haben als die Kiefernbestände. Trotz der auf den Festmeter bezogenen geringsten Energiegehalte zeigen die beiden Fichtenbestände die höchsten Annuitäten, aufgrund der schnellen und hohen Volumenproduktion und der geringeren Ausgaben (vgl. Tabelle 46).

Tabelle 46 Entwicklung der Annuitäten der konventionell bewirtschafteten Bestände über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Annuität in €/ha*a		
	Historisch	Brennholz	Energie
Bestand			
FiAst	154	172	603
Fi	151	169	646
KieAst	-15	2	256
Kie	-2	14	279
Bu	-59	-18	341
Ei	-101	-89	3

Für das Preismodell „Brennholz“ verändert sich die Standardabweichung kaum, während sie sich hin zum Preismodell „Energie“ bei allen Beständen deutlich erhöht. Gleichzeitig verändern sich das Sicherheitsäquivalent und sämtliche Downside-Risikomaße in Richtung eines geringeren Risikos. Dabei ist die Risikoreduktion im Schritt hin zum Preismodell „Energie“ deutlich größer als hin zum Preismodell „Brennholz“.

Einen weiteren wichtigen Faktor für die Portfolioanalyse stellt die Korrelation zwischen den Annuitäten der Portfoliobestandteile dar. Im Preismodell „Brennholz“ ergeben sich hierbei gegenüber der Referenzvariante nur minimale Veränderungen. Im Gegensatz dazu zeigen sich für das Preismodell „Energie“ Steigerungen der Korrelationen (vgl. Tabelle 47).

Tabelle 47 Korrelationskoeffizienten der Annuitäten der konventionell bewirtschafteten Bestände für das Preismodell „Energie“

	FiAst	Fi	KieAst	Kie	Bu	Ei
FiAst	1	0,24	0,24	0,26	0,21	0,01
Fi		1	0,24	0,25	0,23	0,01
KieAst			1	0,48	0,25	0,09
Kie				1	0,24	0,09
Bu					1	0,07
Ei						1

Nachdem in diesem Preismodell die Holzpreise allesamt vollständig positiv korreliert sind, da sie von einem simulierten Energiepreis abgeleitet wurden, sind besonders die Effekte der Integration des Kalamitätsrisikos sichtbar (vgl. Tabelle 47). Dieser Risikofaktor sorgt dafür, dass die Annuitäten der Mischungskomponenten nur leicht positiv korreliert sind. Einzig die

Korrelationen des Eichenbestands mit den restlichen Beständen verändern sich vergleichsweise wenig und bleiben relativ gering. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Einnahmen aus dem Eichenbestand hauptsächlich zu Zeitpunkten auftreten, zu denen die anderen Bestände längst geerntet sind. Dafür spricht auch, dass die Korrelation parallel zu den Umtriebszeiten der anderen Bestände ansteigt. Somit kommen beim Eichenbestand neben dem Ausfallrisiko auch noch Effekte der zeitlichen Diversifikation zum tragen.

„Optimierte“ Bestände

Auch die Annuitäten der finanziell „optimierten“ Bestände erhöhen sich für die beiden alternativen Preismodelle (vgl. Tabelle 48), wobei die Steigerung hin zum Preismodell „Energie“ wiederum größer ist. Die Veränderungen sind jedoch bei den einzelnen Beständen sehr unterschiedlich. Die Annuitäten der Nadelwertholzbestände steigen beim Preismodell „Brennholz“ nur minimal, begründet dadurch, dass nur sehr geringe Mengen des neuen Sortimentes IH+ in diesen Beständen geerntet werden. Dagegen erhöhen sich die Annuitäten der Laubwertholzbestände deutlich, was auf das neben dem Wertholz ausgehaltene Industrieholz zurückzuführen ist, das jetzt deutlich höher bewertet wird. Am meisten profitieren die Industrieholzbestände, deren gesamte geerntete Holzmenge wesentlich höhere Preise erzielt. Auch die Annuitäten der Sägeholzbestände steigen stärker an als die der Wertholzbestände, mit Ausnahme des Eichensägeholzbestandes, der unter den Eichenbeständen am wenigsten profitiert. Dennoch sind im Preismodell „Brennholz“ die selben vier Bestände wie im Preismodell „Historisch“ in gleicher Reihenfolge finanziell vorteilhaft.

Im Preismodell „Energie“ steigen die Annuitäten der Sägeholzbestände, gefolgt von den Industrieholzbeständen, besonders deutlich an (vgl. Tabelle 48). Eine Ausnahme stellt die Eiche dar, bei der die Steigerung bei den Industrieholzbeständen am höchsten ist. Den Wertholz liefernden Beständen bringt dieses Preismodell wiederum die geringsten Steigerungsraten. Die Differenz nimmt insgesamt von der Fichte über die Buche und Kiefer hin zur Eiche ab. Wie bei den konventionell erzogenen Beständen profitiert besonders die Buche von einer energiegehaltsabhängigen Preisbildung und ist somit finanziell vorteilhafter als die Kiefer. In einer Annuitätenreihung verlieren bei diesem Preismodell alle Wertholzbestände, wohingegen die Säge- und Industrieholzbestände mit Ausnahme des Eichensägeholzbestandes gewinnen. Die höchste Annuität liefert im Preismodell „Energie“ der Fichtensäge-, gefolgt vom -industrieholzbestand und dem Fichtenwertholzbestand. Danach folgen in der Reihenfolge Säge- und Industrieholzproduktion die Bestände von Buche und Kiefer.

Tabelle 48 Entwicklung der Annuitäten der finanziell „optimierten“ Bestände über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Annuität in €/ha*a		
	Historisch	Brennholz	Energie
Bestand			
FiWH	216	217	489
FiSH	175	193	725
FilH	75	152	617
KieWH	45	46	269
KieSH	23	37	389
KielH	13	51	380
BuWH	34	54	225
BuSH	27	60	437
BulH	-6	48	420
EiWH	144	172	210
EiSH	1	20	189
EilH	-17	22	237

Die Standardabweichung erhöht sich hin zum Preismodell „Brennholz“ zumeist leicht, zum Preismodell „Energie“ mit einer Ausnahme sehr deutlich. Diese Ausnahme ist der Eichenwertholzbestand, der beim Preismodell „Energie“ eine deutlich geringere Standardabweichung aufweist als bei den anderen Preismodellen, was darauf zurückzuführen ist, dass der energetische Holzpreis eine deutlich kleinere Standardabweichung hat als der vorher erlösbestimmende Wertholzpreis. Das Sicherheitsäquivalent, die Verlustwahrscheinlichkeit, der VaR und der Expected Shortfall zeigen bei den alternativen Preismodellen ein geringeres Risiko an. Lediglich bei den Fichtenbeständen lässt das Sicherheitsäquivalent für starke Risikoaversion und dem Preismodell „Energie“ ein ansteigendes Risiko folgern. Für das Preismodell „Brennholz“ zeigen auch die LPM_1 und die LPM_2 ein sinkendes Risiko an, was auch mit Einschränkungen für das Preismodell „Energie“ gilt. Ausnahmen bilden bei den LPM_1 die Fichten- und Buchenindustrieholzbestände, für die LPM_2 alle Industrieholzbestände.

Die Korrelationen der Annuitäten, als wichtiger Eingangsparameter nach der MARKOWITZ'sche Portfoliotheorie, verändern sich für das Preismodell „Brennholz“ nur minimal. Auch für das Preismodell „Energie“ halten sich die Veränderungen trotz vollständig positiv korrelierter Preise in den meisten Fällen in einem sehr kleinen Rahmen. Neben dem Effekt des Kalamitätsrisikos, der hier aufgrund der kürzeren Umtriebszeiten geringer ist, kommt deutlich der Effekt der zeitlichen Diversifikation der Holzerntemaßnahmen zum tragen (vgl. Tabelle 35). Ohne zeitliche Diversifikation, wie z.B. beim Fichtenwertholz- und Eichenindustrieholzbestand, deren einzige reguläre Holzernte zum gleichen Zeitpunkt stattfindet, beträgt der Korrelationskoeffizient 0,76. Somit zeigt sich als Erfolg der einzelbestandsweisen Optimierung im Vergleich zu den konventionell behandelten Beständen, eine deutlich geringere Korrelation.

5.3.1.2 Veränderung der optimalen Portfolios

Trotz der sehr unterschiedlichen Risikomaße, die hier untersucht werden, zeigen die optimalen Portfolios zum Teil sehr ähnliche Entwicklungen. Somit werden im Folgenden lediglich einzelne Vergleiche stellvertretend präsentiert.

Konventionell erzogene Bestände

Wie schon bei den Einzelbeständen steigt auch die Annuität der risikominimalen Mischungen mit den veränderten Preismodellen an (vgl. Tabelle 49). Dennoch ist sie für das Preismodell „Brennholz“ noch knapp negativ, für das Preismodell „Energie“ deutlich positiv, wobei jedoch die Standardabweichung auch viel höher ist. Beim Preismodell „Brennholz“ dagegen ist sie etwa gleich groß wie in der Referenzvariante. Die Risikoreduktion beträgt für die beiden neuen Preismodelle etwa 80 % gegenüber der Einzelinvestition mit höchster Annuität. Die Annuität wird beim Preismodell „Energie“ prozentual etwa gleichstark, beim Preismodell „Brennholz“ deutlich stärker reduziert.

Tabelle 49 Veränderung der nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Historisch	Brennholz	Energie
Annuität in €/ha*a	-22	-1	131
Standardabweichung in €/ha*a	8	8	23
Anteile			
FiAst	2%	1%	0%
Fi	2%	3%	0%
KieAst	29%	29%	22%
Kie	40%	40%	21%
Bu	12%	12%	4%
Ei	15%	14%	53%

Während sich die Zusammensetzung des risikominimalen Portfolios zwischen der Referenzvariante und dem Preismodell „Brennholz“ nur minimal verändert, zeigen sich hin zum Preismodell „Energie“ deutliche Veränderungen (vgl. Tabelle 49). Mit Ausnahme des Eichenbestandes reduzieren sich die Anteile aller Bestände, besonders die des ungeasteten Kiefernbestandes. Das vorteilhafte Portfolio besteht dann zu über der Hälfte aus Eiche.

Die Darstellung für das Sicherheitsäquivalent (vgl. Tabelle 50) bei normaler Risikoaversion steht stellvertretend auch für die Entwicklung der optimalen Portfolios für starke Risikoaversion, für den Expected Shortfall und für die Downside-Varianz. Das optimale Portfolio nach der Downside-Varianz erreicht für alle drei Preismodelle den geringstmöglichen Wert der Risikokennzahl von Null bei gleichzeitiger Erhöhung der Annuität. Die drei übrigen Risikomeßzahlen zeigen für die alternativen Preismodelle ein geringeres Risiko, bei gleichzeitig ansteigenden Annuitäten.

Tabelle 50 Veränderung der nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion optimalen Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Historisch	Brennholz	Energie
Annuität in €/ha*a	153	170	632
Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion in €/ha*a	148	166	590
Anteile			
FiAst	51%	49%	32%
Fi	49%	51%	68%
KieAst	0%	0%	0%
Kie	0%	0%	0%
Bu	0%	0%	0%
Ei	0%	0%	0%

Für alle vier zusammen betrachteten Risikokennzahlen bestehen alle optimalen Portfolios nur aus Fichtenbeständen. Zudem reduziert sich, sowohl hin zum Preismodell „Brennholz“, als auch weiter zum Preismodell „Energie“, jeweils der Anteil des geasteten Fichtenbestandes zugunsten des ungeasteten (vgl. Tabelle 50). Allerdings fällt diese Verschiebung je nach Risikokennzahl unterschiedlich stark aus. Die Reduktion des Anteils geasteter Bestände ist bei Betrachtung des Expected Shortfalls und des Sicherheitsäquivalents für starke Risikoaversion schwächer als hier abgebildet, für die Downside-Varianz deutlich stärker.

Die anhand der LPM_1 dargestellten Veränderungen der optimalen Portfolios stehen stellvertretend für die Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit und des VaR. Wiederum sind nur die zwei Fichtenbestände an den optimalen Portfolios beteiligt. Für alle drei Preismodelle konnte durch die richtige Mischung für die Downside-Wahrscheinlichkeit und den Downside-Erwartungswert der geringstmögliche Wert von Null erreicht werden (vgl. Tabelle 51). Dies bedeutet, dass sich trotz steigender Annuitäten nach diesen Risikomaßen das Risiko nicht erhöht. Für den VaR steigt der Wert bei den neuen Preismodellen sogar mit der Annuität an, was einer Verringerung des Risikos entspricht.

Tabelle 51 Veränderung der nach den LPM_1 optimalen Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Historisch	Brennholz	Energie
Annuität in €/ha*a	153	171	646
LPM_1 in €/ha*a	0,00	0,00	0,00
Anteile			
FiAst	59%	61%	0%
Fi	41%	39%	100%
KieAst	0%	0%	0%
Kie	0%	0%	0%
Bu	0%	0%	0%
Ei	0%	0%	0%

Betrachtet man die Veränderung der optimalen Portfolios zwischen der Referenzvariante und dem Preismodell „Brennholz“, zeigt sich für alle drei Risikomaße eine kleine Zunahme des Anteils der geasteten Fichtenbestände (vgl. Tabelle 51). Erfolgt die Preisbildung allerdings energiegehaltsabhängig, verschwindet der geastete Fichtenbestand völlig aus der optimalen Mischung. Im Gegensatz dazu verändert sich die optimale Mischung nach dem VaR nicht gegenüber dem Preismodell „Brennholz“, wonach weiterhin eine fast hälftige Mischung der zwei Fichtenbestände vorteilhaft ist.

Somit zeigen sich bei zunehmender energetischer Nutzung des geernteten Holzes für die optimalen Portfolios der meisten Risikokennzahlen mehr oder weniger starke Reduktionen des Anteils der geasteten Fichtenbestände und damit ein zunehmender Verzicht auf die Produktion von Holz hoher Qualität (vgl. Tabelle 50 und Tabelle 51). Gleichzeitig ist zu beobachten, dass an allen optimalen Mischungen nur die beiden Fichtenbestände beteiligt sind. Eine Ausnahme stellen die nach der Standardabweichung vorteilhaften Mischungen dar, die von den anderen Baumarten dominiert werden und auch die geringsten Annuitäten zeigen.

„Optimierte“ Bestände

In den folgenden Tabellen werden die Veränderungen der vorteilhaften Mischungen aus „optimierten“ Beständen für die drei Holzpreismodelle bei den verschiedenen Risikokennzahlen dargestellt. Dabei ist immer zu beobachten, dass die Annuitäten der jeweils optimalen Portfolios von der Referenzvariante hin zum Preismodell „Brennholz“ etwas, zum Preismodell „Energie“ noch einmal deutlich stärker ansteigen.

Tabelle 52 Veränderung der nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios aus den „optimierten“ Beständen über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Historisch	Brennholz	Energie
Annuität in €/ha*a	6	35	255
Standardabweichung in €/ha*a	5	5	30
Anteile			
FiWH	0%	0%	0%
FiSH	0%	0%	1%
FilH	1%	1%	2%
KieWH	6%	6%	6%
KieSH	5%	6%	7%
KielH	3%	4%	5%
BuWH	3%	4%	19%
BuSH	11%	10%	4%
BulH	8%	8%	2%
EiWH	0%	0%	26%
EiSH	36%	43%	25%
EilH	26%	18%	5%

Während die Standardabweichung der vorteilhaften Mischung hin zum Preismodell „Brennholz“ konstant bleibt, steigt sie für das Preismodell „Energie“ deutlich an (vgl. Tabelle 52). Einige zumeist kleinere Änderungen in der Zusammensetzung gegenüber der Referenz ergeben sich für das Preismodell „Brennholz“. Größere Verschiebungen zeigen sich hin zum

Preismodell „Energie“. So steigen die Anteile der Laubwertholzbestände sehr stark an, bei gleichzeitigem Absinken der Anteile der Laubsäge- und -industrieholzbestände, womit wiederum die Bestände mit den geringsten Annuitäten dominieren. Diese Mischungen werden in allen drei Fällen von den Eichenbeständen beherrscht.

Die folgenden Ausführungen erfolgen stellvertretend für die nach den LPMs nullter, erster und zweiter Ordnung vorteilhaften Portfolios. Die Bestimmung eines Portfolios mit dem geringstmöglichen Wert Null für die Risikomeßzahl ist stets möglich (vgl. Tabelle 53). Allerdings weist das nach der Verlustwahrscheinlichkeit optimale Portfolio für das Preismodell „Brennholz“ eine geringere Annuität auf als in der Referenzvariante.

Tabelle 53 Veränderung der nach den LPM₁ optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Historisch	Brennholz	Energie
Annuität in €/ha*a	153	177	704
LPM ₁ in €/ha*a	0,00	0,00	0,00
Anteile			
FiWH	23%	29%	0%
FiSH	29%	12%	80%
FilH	25%	51%	20%
KieWH	0%	0%	0%
KieSH	0%	0%	0%
KielH	0%	0%	0%
BuWH	0%	0%	0%
BuSH	0%	0%	0%
BulH	0%	0%	0%
EiWH	23%	8%	0%
EiSH	0%	0%	0%
EilH	0%	0%	0%

Für alle drei Preismodelle unterscheiden sich die nach dem Downside-Erwartungswert und der Downside-Varianz optimierten Portfolios nur minimal. Wie in der Referenz sind auch für das Preismodell „Brennholz“ alle Bestände am bezüglich der Verlustwahrscheinlichkeit vorteilhaften Portfolio beteiligt. Dabei steigen sogar die Anteile der in der Referenz mit jeweils 1 % beteiligten Bestände an, während sich besonders die Anteile der Wertholzbestände reduzieren. Die optimalen Portfolios nach den LPMs erster und zweiter Ordnung bestehen für das Preismodell „Brennholz“ zur Hälfte aus Fichtenindustrieholzbeständen (vgl. Tabelle 53), wofür die Anteile des Eichenwert- und des Fichtensägeholzbestandes sehr deutlich reduziert werden. Für das Preismodell „Energie“ besteht das optimale Portfolio bei allen drei Kennzahlen zu 80 % aus Fichtensägeholzbeständen, der Rest wird von den Fichtenindustrieholzbeständen eingenommen. Somit verschwinden gegenüber der Referenz alle Wertholzbestände aus der vorteilhaften Mischung und der Anteil des Fichtensägeholzbestandes steigt sehr stark an. Diese Preismodelle legen somit eine Abkehr von der Wertholzproduktion nahe.

Die Analyse der Veränderungen der nach dem Expected Shortfall vorteilhaften Portfolios erfolgt stellvertretend für die Betrachtung des Sicherheitsäquivalents und des VaR. In den zwei neuen Preismodellen steigen auch die Werte des Expected Shortfalls, des VaR sowie des

Sicherheitsäquivalents, was mit einer Reduktion des Risikos gleichzusetzen ist. Dabei ist die Steigerung der Risikokennzahl beim Preismodell „Brennholz“ sogar deutlich größer als der Anstieg der Annuitäten (vgl. Tabelle 54).

Tabelle 54 Veränderung der nach dem Expected Shortfall optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen über die drei Holzpreismodelle

Preismodell	Historisch	Brennholz	Energie
Annuität in €/ha*a	164	178	536
Expected Shortfall in €/ha*a	68	100	351
Anteile			
FiWH	26%	18%	9%
FiSH	33%	24%	24%
FiiH	13%	37%	20%
KieWH	0%	0%	0%
KieSH	0%	0%	11%
KieiH	0%	0%	5%
BuWH	0%	0%	0%
BuSH	0%	0%	20%
BuiH	0%	0%	11%
EiWH	28%	20%	0%
EiSH	0%	0%	0%
EiiH	0%	0%	0%

Für das Preismodell „Brennholz“ tritt im vorteilhaften Portfolio nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion der Eichenwert- und für starke Risikoaversion der Fichtenindustrieholzbestand mit jeweils 7 % neu hinzu. Gleichzeitig wird besonders der Anteil des Fichtenwertholzbestandes reduziert. In den vorteilhaften Portfolios nach den beiden anderen Kennzahlen verschieben sich die Anteile deutlich zu Gunsten des Fichtenindustrieholzbestandes. Für das Preismodell „Energie“ verschwindet bei diesen vier Risikokennzahlen der Eichenwertholzbestand aus dem vorteilhaften Portfolio und der Anteil des Fichtenwertholzbestandes wird deutlich reduziert. Dafür treten die Säge- und Industrieholzbestände von Buche und Kiefer zu den optimalen Portfolios hinzu, wobei ihre Anteile aber je nach Risikomeßzahl sehr verschieden sind.

Lässt man die Standardabweichung als Sonderfall beiseite, geht bei den optimalen Portfolios für die alternativ betrachteten Preismodelle der Trend weg von den Wertholzbeständen. Dies ist auf mehrere Ursachen zurückzuführen. Zum einen holen die anderen Bestände auf der Einnahmenseite zunehmend auf, nachdem deren Produkte besser bzw. beim Preismodell „Energie“ genauso bezahlt werden. Hierdurch erhöhen sich die Annuitäten der anderen Bestände beim Preismodell „Brennholz“ und erst recht für das Preismodell „Energie“ deutlich stärker. Zum anderen ist für das Preismodell „Energie“ die Investition in die Astung zwecklos, da die höhere Holzqualität nicht mehr honoriert wird. Daneben werden die Bestände zur Wertholzproduktion weitständig erzogen, fokussiert die Behandlung doch auf die wenigen geasteten Bäume, so dass sie insgesamt relativ wenig Holzmasse produzieren.

Es kann weiter festgestellt werden, dass es zwei Gruppen von optimalen Portfolios gibt, die sich in ihrer Zusammensetzung deutlich unterscheiden. Für das Preismodell „Brennholz“ sind die Portfolios noch recht ähnlich und bestehen mit Ausnahme der Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit aus den drei Fichtenbeständen und dem Eichenwertholzbestand. Für das Preismodell „Energie“ setzen sich die optimalen Portfolios für die drei Ordnungen der LPMs zu 80 % aus Fichtensäge- und zu 20 % aus Fichtenindustrieholzbeständen zusammen. Nach den anderen vier Risikomaßen treten dagegen Kiefern- und Buchensäge- und -industrieholzbestände mit teilweise erheblichen Anteilen in den vorteilhaften Mischungen auf.

Vergleicht man die vorteilhaften Portfolios für die Standardabweichung und das Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion der alternativen Preismodelle, so weisen die aus „optimierten“ Beständen sowohl höhere Annuitäten als auch ein geringeres Risiko auf als die aus konventionell erzeugten Beständen. Die Werte der LPMs nullter, erster und zweiter Ordnung sind in den optimalen Portfolios beider Bestandeskollektive stets Null. Die Annuität des für die Verlustwahrscheinlichkeit vorteilhaften Portfolios aus „optimierten“ Beständen ist für das Preismodell „Brennholz“ kleiner als die Annuität des Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen. Ansonsten sind die Annuitäten der Mischungen aus „optimierten“ Beständen höher. Für die Optimierung anhand des VaR und des Expected Shortfalls ist der Risikokennwert für Portfolios aus „optimierten“ Beständen stets geringer und zeigt damit ein höheres Risiko an. Dies ist im Preismodell „Energie“ auch bei Optimierung nach dem Sicherheitsäquivalent für starke Risikoaversion der Fall. Gleichzeitig sind für dieses Preismodell auch die Annuitäten dieser drei Portfolios geringer. Somit zeigt sich für das Preismodell „Energie“ eine teilweise bessere Entwicklung der Portfolios aus konventionell behandelten Beständen. Ansonsten kommt man mit den „optimierten“ Beständen gut mit den unterstellten Holzpreisänderungen zurecht und die Portfolios sind in vielen Fällen vorteilhaft. Allerdings ist festzustellen, dass die Gruppen von Risikokennzahlen, die eine ähnliche Entwicklung in der Zusammensetzung der vorteilhaften Portfolios für verschiedene Preismodelle zeigen, bei konventionell erzeugten und „optimierten“ Beständen unterschiedlich zusammengesetzt sind.

5.3.2 Analyse steigender Naturgefahren

Einen weiteren wichtigen Faktor für die finanzielle Bewertung stellt neben den Holzpreisen das Risiko von Kalamitäten dar. Im Folgenden werden deshalb die Auswirkungen eines erhöhten Kalamitätsrisikos auf die Einzelbestände und die optimalen Portfolios näher beleuchtet. Auch in dieser Analyse werden die gleichen „optimierten“ Bestände evaluiert wie in der Referenzvariante oder den Holzpreisszenarien.

5.3.2.1 Veränderung der Kennwerte der Einzelbestände

Konventionell erzeugte Bestände

Durch ein erhöhtes Risiko von Kalamitäten und den damit verbundenen Mindereinnahmen aufgrund ausgefallener Bestände sowie den Mehrausgaben für die Wiederbegründung, sinken die Annuitäten aller Bestände (vgl. Tabelle 55). Am geringsten ist die Reduktion für die Kiefernbestände, da diese Bestände zum einen deutlich größere Überlebenswahrscheinlichkeiten

aufweisen als die Fichtenbestände. Zum anderen sind die Kulturkosten deutlich geringer als bei den Buchenbeständen, die ähnliche Überlebenswahrscheinlichkeiten zeigen.

Tabelle 55 Entwicklung der Annuitäten der konventionell bewirtschafteten Bestände bei gesteigertem Kalamitätsrisiko

Risikomodellell	Annuität in €/ha*a	
	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Bestand		
FiAst	154	109
Fi	151	113
KieAst	-15	-31
Kie	-2	-18
Bu	-59	-94
Ei	-101	-136

Die höchste Reduktion der Annuitäten weisen die Fichtenbestände auf, was an der im Vergleich zu den anderen Baumarten überproportionalen Steigerung des Kalamitätsrisikos liegt (vgl. Tabelle 55). Die höhere Reduktion der Annuitäten der geasteten Fichtenbestände dürfte auf die längere Umtriebszeit und die zusätzliche Auszahlung für die Astung zurückzuführen sein. Gleichzeitig ist die Reduktion der Annuität des ungeasteten Fichtenbestandes trotz wesentlich höherer Ausfallraten nur etwas größer als bei den Laubholzbeständen. Dies spricht dafür, dass die Höhe der Ausgaben für die Kultur in dieser Studie, wegen den unterstellten hohen Ausfallraten in den ersten Jahren, eine entscheidende Rolle spielt, weisen doch beide Laubholzbestände sehr hohe Kulturkosten auf. Daneben erreichen die nach einem kalamitätsbedingten Ausfall neu begründeten Bestände der Fichte viel schneller wieder positive Durchforstungserlöse und einen positiven Abtriebswert.

Nur die Fichtenbestände zeigen, trotz des überproportional gestiegenen Kalamitätsrisikos, positive Annuitäten, wobei jetzt der ungeastete Fichtenbestand die höchste Annuität aufweist. Ansonsten bleibt die Reihung der Bestände nach der Annuität gleich. Daneben zeigen alle Parameter zur Risikoquantifizierung einen starken Anstieg des finanziellen Risikos. Für das Risikomodellell mit gesteigerten Naturgefahren verändern sich die Korrelationskoeffizienten der Annuitäten noch mehr in Richtung vollständiger Unkorreliertheit und liegen zwischen -0,02 und 0,01.

„Optimierte“ Bestände

In den „optimierten“ Beständen reduzieren sich ebenso die mittleren Annuitäten durch die Steigerung des Kalamitätsrisikos (vgl. Tabelle 56). Dennoch bleibt die Reihung der Bestände nach der Annuität erhalten.

Tabelle 56 Entwicklung der Annuitäten der „optimierten“ Bestände bei gesteigertem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	Annuität in €/ha*a	
	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Bestand		
FiWH	216	190
FiSH	175	134
FilH	75	54
KieWH	45	40
KieSH	23	6
KieIH	13	5
BuWH	34	29
BuSH	27	21
BuIH	-6	-13
EiWH	144	119
EiSH	1	-5
EilH	-17	-23

Besonders stark fallen die Reduktionen der mittleren Annuität bei den drei Fichtenbeständen aufgrund der überproportionalen Steigerung des Kalamitätsrisikos aus. Am stärksten ist der Fichtensägeholzbestand betroffen, was hauptsächlich an den vergleichsweise hohen Kulturkosten liegt. So zeigt auch der Kiefersägeholzbestand mit gleichen Kulturkosten eine recht starke Reduktion der Annuitäten. Ebenfalls sehr deutlich verringert sich die Annuität der Eichenwertholzbestände, was auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden kann. Zunächst hat dieser Bestand mit 95 Jahren eine lange Umtriebszeit und ist somit den Naturgefahren lange ausgesetzt. Dazu kommen die nach den Nadelsägeholzbeständen dritthöchsten Ausgaben für die Kultur sowie hohe Ausgaben für Astung und Pflege. Die anderen „optimierten“ Bestände zeigen im Vergleich zu diesen fünf Beständen, aber auch gegenüber den konventionell erzo-genen Beständen wesentlich geringere Annuitätenreduktionen. Somit zeigt sich, als ein weiterer positiver Effekt der finanziellen Optimierung, eine aus finanzieller Sicht geringere Anfälligkeit gegenüber einer Steigerung des Kalamitätsrisikos.

Die Risikokennzahlen deuten ebenfalls auf eine Risikosteigerung für die verschiedenen „op-timierten“ Bestände hin. Im Maximum ist die Verringerung des Sicherheitsäquivalents und die Steigerung der Verlustwahrscheinlichkeit bei den „optimierten“ Beständen größer, dafür die Verschlechterung bei den restlichen fünf Risikokennzahlen geringer als bei den konventi-onell bewirtschafteten Beständen. Die Korrelation der Annuitäten reduziert sich auch bei den „optimierten“ Beständen durch das gesteigerte Kalamitätsrisiko. Aufgrund der schon in der Referenzvariante geringen Korrelation fallen diese allerdings sehr klein aus.

5.3.2.2 Veränderung der optimalen Portfolios

Nachdem die Betrachtung der Einzelbestände deutliche Veränderungen durch die Erhöhung des Kalamitätsrisikos ergab, sollen im Folgenden die Effekte auf die optimalen Portfolios herausgearbeitet werden.

Konventionell erzogene Bestände

Die Standardabweichung des risikominimalen Portfolios erhöht sich deutlich, dennoch fällt diese Steigerung wesentlich geringer aus als die kleinste Steigerung bei den Einzelbeständen (vgl. Tabelle 57). Gleichzeitig ist zu beobachten, dass sich die Annuität der risikominimalen Mischung mit dem Risiko erhöht, aber noch negativ ist.

Tabelle 57 Veränderung des nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	-22	-13
Standardabweichung in €/ha*a	8	22
Anteile		
FiAst	2%	8%
Fi	2%	10%
KieAst	29%	34%
Kie	40%	34%
Bu	12%	7%
Ei	15%	7%

Trotz des überproportional steigenden Risikos der Fichte, erhöht sich der Anteil beider Bestände an der nach der Standardabweichung vorteilhaften Mischung deutlich (vgl. Tabelle 57). Diese Mischung wird jedoch auch weiterhin mit einem Anteil von fast 70 % von Kiefer dominiert, wobei die beiden Kiefernbestände gleiche Anteile aufweisen.

Die Veränderung des optimalen Portfolios nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion (vgl. Tabelle 58) steht hier stellvertretend für die Veränderungen für starke Risikoaversion und die Optimierungen mit der Verlustwahrscheinlichkeit, dem VaR und dem Expected Shortfall. Für diese fünf gemeinsam dargestellten Portfolios unterscheiden sich auch die Annuitäten lediglich minimal im Nachkommabereich. Zudem sind bei all diesen Optimierungsansätzen auch nach der Steigerung des Kalamitätsrisikos nur Fichtenbestände an den vorteilhaften Mischungen beteiligt und die Anteilsverschiebungen zwischen diesen beiden Beständen sind begrenzt. Zumeist reduziert sich aber der Anteil des geasteten Fichtenbestandes.

Tabelle 58 Veränderung der nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion optimalen Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	153	111
Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion in €/ha*a	148	98
Anteile		
FiAst	51%	44%
Fi	49%	56%
KieAst	0%	0%
Kie	0%	0%
Bu	0%	0%
Ei	0%	0%

Gleichzeitig ist für alle fünf hier zusammen betrachteten Risikokennzahlen eine Verschiebung hin zu einem größeren Risiko bei gleichzeitiger Verringerung der Annuität zu beobachten (vgl. Tabelle 58). Eine Ursache für die weiterhin dominierende Stellung der Fichtenbestände könnte sein, dass diese unter den konventionell erzeugten Beständen immer noch die mit Abstand höchsten und einzig positiven Annuitäten haben. Daneben weisen die Fichtenbestände immer noch die höchsten Sicherheitsäquivalente und Werte für den VaR und den Expected Shortfall, sowie die geringsten Verlustwahrscheinlichkeiten auf. Somit könnte man dies auch als Schwäche der anderen Bestände betrachten, können sie doch trotz des neuen Risikoregimes nicht an die Fichtenbestände heranreichen.

Auch für die Betrachtung des Downside-Erwartungswertes und der Downside-Varianz (vgl. Tabelle 59) zeigen die Portfolios bei der Steigerung des Kalamitätsrisikos eine sehr deutliche Verringerung der Annuitäten, während die Risikokenngrößen auf ein höheres finanzielles Risiko hinweisen. Gleichzeitig verschieben sich nicht nur Anteile zwischen den Fichtenbeständen, sondern es treten auch Kiefernbestände zur optimalen Mischung hinzu. Dafür wird besonders der Anteil des geasteten Fichtenbestandes stark reduziert. Während beim vorteilhaften Portfolio nach den LPM₂ beide Kiefernbestände beteiligt sind, ist dies bei den LPM₁ auf den ungeasteten Bestand beschränkt. Die Zusammensetzung des optimalen Portfolios nach der Downside-Varianz ändert sich somit insgesamt am stärksten (vgl. Tabelle 59).

Tabelle 59 Veränderung der nach den LPM₂ optimalen Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	153	68
LPM ₂ in (€/ha*a) ²	0	40
Anteile		
FiAst	59%	33%
Fi	41%	35%
KieAst	0%	12%
Kie	0%	20%
Bu	0%	0%
Ei	0%	0%

Fast durchgängig zeigt sich in den optimalen Portfolios für die Steigerung des Kalamitätsrisikos ein Trend weg vom geasteten Fichtenbestand. Die Veränderungen sind jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Zumeist erfolgt die Verschiebung zugunsten des ungeasteten Fichtenbestands, nur bei den zwei zuletzt betrachteten Kennzahlen auch zugunsten der Kiefernbestände. Mit Ausnahme der risikominimalen Mischung nach der Standardabweichung reduziert sich die Annuität der vorteilhaften Portfolios durch die Steigerung des Kalamitätsrisikos und diese führt zu einem erhöhten finanziellen Risiko.

„Optimierte“ Bestände

Wie schon bei den meisten Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen zu beobachten war, sinkt die Annuität der optimalen Mischungen mit steigendem Kalamitätsrisiko. Dennoch zeigt sogar das nach der Standardabweichung vorteilhafte Portfolio aus „optimierten“ Beständen noch eine positive Annuität (vgl. Tabelle 60), während sich gleichzeitig das finanzielle Risiko erhöht. Das erhöhte Kalamitätsrisiko bewirkt zumeist nur geringe Verschiebungen in den Anteilen der „optimierten“ Bestände am vorteilhaften Portfolio nach der Standardabweichung. So wird es weiter von Eichenbeständen dominiert, obwohl der Anteil des Eichensägeholzbestandes am meisten reduziert wird. Gleichzeitig halten die Fichtenbestände auch weiterhin nur einen sehr geringen Anteil an diesem Portfolio, während alle übrigen „optimierten“ Bestände beteiligt sind und sich ihre Anteile zumeist etwas erhöhen (vgl. Tabelle 60).

Tabelle 60 Veränderung der nach der Standardabweichung optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	6	5
Standardabweichung in €/ha*a	5	9
Anteile		
FiWH	0%	0%
FiSH	0%	0%
FilH	1%	1%
KieWH	6%	11%
KieSH	5%	3%
KieIH	3%	6%
BuWH	3%	8%
BuSH	11%	14%
BulH	8%	11%
EiWH	0%	1%
EiSH	36%	23%
EilH	26%	22%

Tabelle 61 Veränderung der nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	199	165
Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion in €/ha*a	175	134
Anteile		
FiWH	58%	61%
FiSH	42%	23%
FilH	0%	0%
KieWH	0%	0%
KieSH	0%	0%
KieIH	0%	0%
BuWH	0%	0%
BuSH	0%	0%
BulH	0%	0%
EiWH	0%	17%
EiSH	0%	0%
EilH	0%	0%

Die Darstellung der Veränderungen beim Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion erfolgt auch stellvertretend für die Betrachtung bei starker Risikoaversion und die Analyse des VaR (vgl. Tabelle 61). In diesen optimalen Portfolios wird der Anteil des Fichtensägeholzbestandes durch eine Erhöhung des Kalamitätsrisikos sehr stark reduziert,

wofür sich der Anteil des Eichenwertholzbestandes vergrößert oder er neu hinzu tritt. Gleichzeitig steigt die Fläche des Fichtenwertholzbestandes etwas an. Im vorteilhaften Portfolio nach dem VaR für erhöhtes Kalamitätsrisiko ist zudem der Fichtenindustrieholzbestand mit einem geringen Anteil beteiligt. Die deutliche Verringerung des Anteils des Fichtensägeholzbestandes lässt sich dadurch erklären, dass sich für diesen Bestand neben der Annuität auch das Sicherheitsäquivalent für beide Risikoeinstellungen und der VaR sehr stark reduzieren. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass dieser Bestand unter den „Optimierten“ die höchsten Ausgaben für die Kultur aufweist, die beim neuen Risikoregime von besonderer Bedeutung sind.

Tabelle 62 Veränderung der nach der Verlustwahrscheinlichkeit optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	141	91
Verlustwahrscheinlichkeit in %	0,0%	1,0%
Anteile		
FiWH	26%	21%
FiSH	19%	17%
FiIH	24%	9%
KieWH	1%	7%
KieSH	1%	4%
KieIH	1%	4%
BuWH	1%	6%
BuSH	1%	5%
BuIH	1%	3%
EiWH	23%	16%
EiSH	1%	3%
EiIH	1%	4%

Die Anteile der vier Bestände, die in der Referenzvariante einen bedeutenden Anteil am vorteilhaften Portfolio nach der Verlustwahrscheinlichkeit haben, sind beim erhöhten Risiko reduziert (vgl. Tabelle 62), während sich die Anteile aller, in der Referenzvariante zu 1 % beteiligten Bestände, um bis zu 6 Prozentpunkte erhöhen. So sind für das verschärfte Kalamitätsregime alle finanziell „optimierten“ Bestände am optimalen Portfolio beteiligt, wobei es mit einem Anteil von fast 50 % immer noch von Fichtenbeständen dominiert wird. Allerdings wird der Anteil der Fichtenbestände durch das verschärfte Risikoszenario deutlich reduziert, wohingegen der Eichenanteil fast konstant bleibt. Gleichzeitig fällt auf, dass die Minimierung der Verlustwahrscheinlichkeit zu sehr breit gestreuten Portfolios führt.

Tabelle 63 Veränderung der nach den LPM₁ optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen bei erhöhtem Kalamitätsrisiko

Risikomodell	normales Risiko	erhöhtes Risiko
Annuität in €/ha*a	153	50
LPM ₁ in €/ha*a	0,00	-0,02
Anteile		
FiWH	23%	7%
FiSH	29%	5%
FiIH	25%	4%
KieWH	0%	22%
KieSH	0%	5%
KieIH	0%	6%
BuWH	0%	17%
BuSH	0%	20%
BuIH	0%	0%
EiWH	23%	9%
EiSH	0%	6%
EiIH	0%	0%

Die Darstellung des optimalen Portfolios nach den LPM₁ und dessen Veränderungen (vgl. Tabelle 63) erfolgt auch stellvertretend für die Betrachtung des Expected Shortfall und der LPM₂. Die Anteile der drei Fichtenbestände und des Eichenwertholzbestandes reduzieren sich in diesen drei Fällen durch die Erhöhung des Kalamitätsrisikos sehr stark (vgl. Tabelle 63). Dafür treten für das verschärfte Risikoregime zusätzliche Bestände, wenngleich mit sehr unterschiedlichen Anteilen, zur vorteilhaften Mischung hinzu. Nur die Laubindustrieholzbestände sind bei keiner Risikokennzahl an den vorteilhaften Mischungen beteiligt. Besonders die Kiefern- und Buchenwertholzbestände halten für das erhöhte Kalamitätsrisiko stets sehr große Anteile an den vorteilhaften Portfolios. Diese beiden Einzelbestände weisen unter dem verschärften Kalamitätsmodell die mit Abstand geringsten Downside-Erwartungswerte und -Varianzen bzw. den höchsten Expected Shortfall und damit das geringste Risiko auf.

Nur das vorteilhafte Portfolio nach der Standardabweichung und die nach dem Sicherheitsäquivalent sowie dem VaR vorteilhaften Mischungen aus „optimierten“ Beständen zeigen eine höhere Annuität und ein geringeres Risiko als die entsprechenden Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen. Vergleicht man die nach den LPMs nullter, erster und zweiter Ordnung sowie dem Expected Shortfall vorteilhaften Portfolios aus konventionell erzogenen und „optimierten“ Beständen für das neue Kalamitätsrisikomodell, zeigen letztere ein geringeres Risiko, aber auch geringere Annuitäten. Würde man das Risiko der optimalen Portfolios aus konventionell behandelten Beständen akzeptieren, wäre die Annuität der Portfolios aus „optimierten“ Beständen dagegen wesentlich größer.

Fast durchgängig zeigt sich in diesem Szenario ein ausgeprägter Trend weg vom Fichtensägeholzbestand. Dieser stellt stets den Portfoliobestandteil dar, dessen Risikokennzahlen sich mit am meisten verschlechtern, sodass sich dieser Trend gut erklären lässt. Gleichzeitig ermöglicht diese Anteilsreduktion, dass zusätzliche Bestände an den vorteilhaften Portfolios beteiligt werden und bisher nur geringfügig beteiligte Bestände ihre Anteile ausbauen können. Dies entspricht sehr gut dem subjektiven Verhalten, bei steigendem Risiko Investitionen

weiter zu streuen und die Anteile der sich am meisten verschlechternden Komponenten besonders stark zu verringern. Da unter den „optimierten“ Beständen finanziell attraktive Alternativen zu den Fichtenbeständen zur Verfügung stehen, zeigt sich der erwartete, aber bei den konventionell erzogenen Beständen mangels guter Alternativen nicht so ausgeprägte Trend weg von der Fichte. Somit kommt man mit Portfolios aus „optimierten“ Beständen auch mit stark steigenden Risiken eher besser zurecht.

Wie bei der Analyse der Holzpreismodelle sind auch im Kalamitätsszenario die Gruppen von Risikokennzahlen, die ähnliche Veränderungen der vorteilhaften Portfolios zeigen, bei den konventionell behandelten und den „optimierten“ Beständen unterschiedlich zusammengesetzt. Die Gruppen stimmen ebenso innerhalb der betrachteten Bestandeskollektive bei den zwei bisher durchgeführten Szenarioanalysen nicht überein. Gleichzeitig ist für beide Szenarioanalysen bei einigen Portfolios aus „optimierten“ Beständen lediglich eine Verschiebung von Anteilen zwischen in der Referenz vorhandener Bestände zu beobachten, während bei den übrigen Portfolios neue Bestände zu den vorteilhaften Portfolios hinzutreten. Bei den Mischungen aus konventionell behandelten Beständen ist dies nur im Risikoszenario zu beobachten, während bei den Holzpreisveränderungen nur Anteile von in der Referenz beteiligten Beständen verschoben wurden.

5.3.3 Analyse veränderter Zinsforderungen

Nachdem in den beiden vorhergehenden Szenarien exogene Faktoren behandelt wurden, die der einzelne Waldbesitzer nicht ändern, sondern nur akzeptieren kann, wird in dieser dritten Analyse mit dem Zinssatz ein Faktor, der direkt von den Vorstellungen des Waldbesitzers abhängt, behandelt. Dieser richtet sich zum einen nach dem Ziel, das der Waldbesitzer mit seinem Wald verfolgt und daneben auch nach seinen alternativen Anlagemöglichkeiten. Für einen Zinssatzrahmen von 1 % bis 5 % soll im Folgenden untersucht werden, welchen Einfluss der Kalkulationszins auf die einzelnen Bestände und die Beteiligung an den vorteilhaften Mischungen hat. In diesem Szenario werden für den jeweiligen Zinssatz „optimierte“ Bestände verwendet, während die konventionell behandelten Bestände gleich blieben.

5.3.3.1 Veränderung der Kennwerte der Einzelbestände

Konventionell erzogene Bestände

Erwartungsgemäß verringern sich die Annuitäten mit ansteigenden Zinssätzen. Für einen Zinssatz von 1 % zeigen alle Bestände, mit Ausnahme des Eichenbestandes positive Annuitäten (vgl. Tabelle 64). Schon für eine Zinsforderung von 2 % sind nur noch die Annuitäten der Fichtenbestände positiv, bis auch diese für einen Zinssatz von 5 % negativ werden. Somit weist der Eichenbestand eine interne Verzinsung bzw. Rendite von unter 1 % und die Fichtenbestände zwischen 4 % und 5 % auf. Alle anderen Bestände zeigen eine Rendite zwischen 1 % und 2 %.

Tabelle 64 Veränderung der Annuitäten der konventionell bewirtschafteten Einzelbestände mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Bestand					
FiAst	264	154	72	10	-40
Fi	235	151	82	25	-22
KieAst	40	-15	-57	-91	-121
Kie	41	-2	-38	-69	-97
Bu	19	-59	-125	-184	-238
Ei	-10	-101	-164	-217	-267

Die höchste Annuität für Zinssätze von 1 % und 2 % weist der geastete Fichtenbestand auf, für höhere Zinssätze stets der ungeastete Fichtenbestand (vgl. Tabelle 64). Somit liegt die Rendite der Astungsinvestition unter den Untersuchungsbedingungen zwischen 2 % und 3 % Prozent und damit etwa 1 % niedriger als in einer Studie von BEINHOFER und KNOKE (2007c). Der geastete Kiefernbestand hat immer eine geringere Annuität als der ungeastete, so dass die interne Verzinsung der Astungsinvestition bei Kiefer unter 1 % liegt und damit noch niedriger ist, als die von BEINHOFER (2008a) unter sehr günstigen Wachstumsbedingungen ermittelte Rendite zwischen 1 % und 2 %.

Für Änderungen des Zinssatzes zeigen sich lediglich geringe bis keine Änderungen der Korrelationskoeffizienten. Die Standardabweichung sinkt mit steigenden Zinssätzen mit Ausnahme einzelner Fälle bei hohen Zinssätzen. Nach diesem Risikomaß würde somit das Risiko mit steigenden Zinssätzen abnehmen. Alle Downside-Risikomaße aber auch die Veränderungen des Sicherheitsäquivalents zeigen hingegen ein mit dem Zinssatz ansteigendes Risiko.

„Optimierte“ Bestände

Für einen Zinssatz von 1 % haben bis auf den Eichenindustrieholzbestand alle „optimierten“ Bestände positive Annuitäten (vgl. Tabelle 65), womit nur dieser Bestand eine Rendite kleiner als 1 % hat. Für einen Zinssatz von 2 % haben auch der Buchenindustrieholzbestand und für einen Zinssatz von 3 % ebenso die Eichen- und Kiefern-sägeholzbestände negative Annuitäten. Entsprechend beträgt die Rendite dieser Bestände zwischen 1 % und 2 % bzw. 2 % und 3 %. Für einen Zinssatz von 4 % sind die Annuitäten aller Laubholzbestände und der Kiefernbestände mit Ausnahme des Industrieholzbestandes negativ. Somit ist es durch die finanzielle Optimierung gelungen, Kiefern- und Laubholzbestände mit Renditen zwischen 3 % und 4 % zu erzielen. Für einen Zinssatz von 5 % sind nur noch die Annuitäten der „optimierten“ Fichtenbestände positiv, so dass ihre interne Verzinsung über 5 % beträgt.

Tabelle 65 Veränderung der Annuitäten der „optimierten“ Einzelbestände mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Bestand					
FiWH	315	216	141	81	35
FiSH	270	175	108	53	5
FilH	88	75	63	50	38
KieWH	99	45	7	-21	-39
KieSH	83	23	-23	-61	-93
KieIH	20	13	7	1	-4
BuWH	65	34	11	-7	-22
BuSH	56	27	4	-13	-28
BuIH	2	-6	-14	-21	-28
EiWH	291	144	52	-4	-38
EiSH	26	1	-15	-28	-38
EiIH	-12	-17	-23	-28	-34

Für Zinssätze bis 4 % zeigt stets der Fichtenwertholzbestand die höchste Annuität (vgl. Tabelle 65). Für den niedrigsten Zinssatz folgt an zweiter Position der Eichenwertholzbestand, wird dann aber bei Zinssatzsteigerungen bis 4 % jeweils um einen Platz nach hinten gereicht. Die zweithöchste Annuität für Zinssätze zwischen 2 % und 4 % zeigt immer der Fichtensägeholzbestand, für einen Zinssatz von 5 % der Fichtenwertholzbestand. In diesem Fall hat der Fichtenindustrieholzbestand die höchste Annuität.

Die Korrelationen verändern sich für die verschiedenen Zinssätze nur äußerst geringfügig. Die Standardabweichung sinkt mit steigendem Zinssatz, was mit einer Risikoreduktion gleichzusetzen ist. Das Sicherheitsäquivalent und alle Downside-Risikomaße hingegen zeigen stets eine Risikosteigerung mit ansteigendem Zinssatz, was plausibel erscheint, da mit dem Zinssatz der Vergleichsmaßstab steigt. Je höher dieser ist, desto größer ist auch die Gefahr ihn nicht zu erreichen.

5.3.3.2 Veränderung der optimalen Portfolios

Nachdem sich für die Einzelbestände zeigt, dass die Vorteilhaftigkeitsreihung vom Zinssatz abhängt und der Übergang zu negativen Annuitäten bei höchst unterschiedlichen Kalkulationszinsfüßen erfolgt, ist auch in der Zusammensetzung der vorteilhaften Mischungen mit Unterschieden bei sich ändernden Zinsfüßen zu rechnen.

Konventionell erzeugte Bestände

Lediglich für einen Zinssatz von 1 % ist die Annuität des nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios positiv (vgl. Tabelle 66). Wie bei den Einzelbeständen sinkt die Standardabweichung mit steigenden Zinsfüßen, allerdings wesentlich weniger als die Annuität.

Tabelle 66 Veränderung der nach der Standardabweichung vorteilhaften Mischungen aus konventionell bewirtschafteten Beständen mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Annuität in €/ha*a	44	-22	-70	-119	-178
Standardabweichung in €/ha*a	12	8	6	6	5
Anteile					
FiAst	1%	2%	3%	4%	4%
Fi	3%	2%	3%	5%	5%
KieAst	28%	29%	25%	21%	15%
Kie	49%	40%	35%	24%	17%
Bu	9%	12%	25%	41%	56%
Ei	9%	15%	9%	5%	3%

Der Anteil der Fichtenbestände an den risikominimalen Mischungen ist über alle Zinssätze hinweg vergleichsweise gering (vgl. Tabelle 66). Daneben sinken die Anteile der Kiefernbestände mit steigenden Kalkulationszinssätzen deutlich, während sich der Anteil des Buchenbestandes konstant und stark vergrößert. Der Buchenbestand nimmt für einen Zinssatz von 5 % mehr als die Hälfte des Portfolios ein.

Die Veränderung der vorteilhaften Mischungen mit steigenden Zinssätzen wird hier exemplarisch für alle anderen Risikokennzahlen am Beispiel des Downside-Erwartungswertes dargestellt (vgl. Tabelle 67). Dies ist möglich, da alle optimalen Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen die gleiche Entwicklung zeigen. Wie bei der Betrachtung der Standardabweichung sinkt die Annuität mit steigenden Zinssätzen, ist aber bis inklusive einer Verzinsungsforderung von 4 % positiv. Die jeweilige Risikokennzahl zeigt ein mit den Zinssätzen steigendes Risiko an.

Tabelle 67 Veränderung der nach den LPM₁ optimierten Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Annuität in €/ha*a	262	153	78	21	-22
LPM ₁ in €/ha*a	0,00	0,00	-0,03	-1,35	-22,36
Anteile					
FiAst	92%	59%	46%	28%	0%
Fi	8%	41%	54%	72%	100%
KieAst	0%	0%	0%	0%	0%
Kie	0%	0%	0%	0%	0%
Bu	0%	0%	0%	0%	0%
Ei	0%	0%	0%	0%	0%

Im Gegensatz zur risikominimalen Mischung nach der Standardabweichung bestehen alle anderen optimalen Portfolios nur aus den beiden Fichtenbeständen (vgl. Tabelle 67). Für steigende Verzinsungsforderungen zeigt sich stets eine kontinuierliche Abnahme des Anteils geasteter Fichtenbestände zugunsten der ungeasteten. Je nach Risikokennzahl ist der ungeastete Fichtenbestand als Einzelinvestition ab unterschiedlichen Zinssätzen vorteilhaft. Für die Sicherheitsäquivalentbetrachtungen ist dies ab einem Zinssatz von 3 % der Fall, die Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit folgt bei 4 %. Für den VaR und die LPMs erster und

zweiter Ordnung ist die Einzelinvestition für eine Verzinsungsforderung von 5 % vorteilhaft. Nur für die Optimierung nach dem Expected Shortfall ist im betrachteten Zinsrahmen stets eine Mischung der zwei Fichtenbestände zu empfehlen.

Insgesamt ergibt sich, dass selbst eine Reduktion des Zinssatzes gegenüber der Referenzvariante nicht zu breiter gestreuten finanziell vorteilhaften Mischungen führt. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass es unter den konventionell bewirtschafteten Beständen für die analysierten Zinssätze keine finanziell attraktive Alternative gegenüber den beiden Fichtenbeständen gibt.

„Optimierte“ Bestände

Die nach der Standardabweichung vorteilhaften Mischungen aus „optimierten“ Beständen weisen etwas geringere Standardabweichungen auf als die entsprechenden Portfolios aus konventionell behandelten Beständen (vgl. Tabelle 68). Gleichzeitig ist die Annuität für einen Zinssatz von 1 % niedriger, ansonsten aber deutlich höher als bei den Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen. Zudem ist die Annuität bis zu einem Zinssatz von 2 % positiv und damit für einen um 1 Prozentpunkt höheren Zinssatz als bei den konventionell bewirtschafteten Beständen.

Tabelle 68 Veränderung der nach der Standardabweichung vorteilhaften Mischungen aus „optimierten“ Beständen mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Annuität in €/ha*a	21	6	-11	-23	-34
Standardabweichung in €/ha*a	7	5	4	3	3
Anteile					
FiWH	0%	0%	0%	0%	0%
FiSH	0%	0%	0%	0%	0%
FilH	1%	1%	1%	1%	1%
KieWH	4%	6%	7%	12%	10%
KieSH	5%	5%	4%	5%	4%
KielH	6%	3%	2%	2%	2%
BuWH	4%	3%	3%	5%	8%
BuSH	7%	11%	13%	18%	19%
BulH	10%	8%	7%	6%	8%
EiWH	0%	0%	0%	2%	4%
EiSH	26%	36%	41%	30%	26%
EilH	37%	26%	21%	19%	20%

Über alle betrachteten Zinssätze hinweg sind die Fichtenbestände praktisch nicht an den nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios beteiligt (vgl. Tabelle 68). Die Anteile der Kiefern- und Buchenwertholzbestände, sowie des Buchensägeholzbestandes erhöhen sich deutlich mit steigendem Zinssatz. Gleichzeitig reduziert sich der Eichenanteil, wobei ab einem Zinssatz von 2 % der Sägeholzbestand einen größeren Anteil einnimmt als der Industrieholzbestand. Trotz der Reduktion nimmt die Eiche auch für einen Zinssatz von 5 % noch die Hälfte der risikominimalen Mischung ein. Insgesamt ist zu beobachten, dass die vorteilhaften Mischungen nach der Standardabweichung weit gestreut sind.

Tabelle 69 Veränderung der nach dem Sicherheitsäquivalent für starke Risikoaversion optimalen Portfolios aus „optimierten“ Beständen mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Annuität in €/ha*a	268	186	127	78	37
Sicherheitsäquivalent für starke Risikoaversion in €/ha*a	181	156	111	65	34
Anteile					
FiWH	23%	40%	58%	89%	28%
FiSH	38%	45%	42%	11%	0%
FilH	0%	0%	0%	0%	72%
KieWH	11%	0%	0%	0%	0%
KieSH	0%	0%	0%	0%	0%
KieIH	0%	0%	0%	0%	0%
BuWH	0%	0%	0%	0%	0%
BuSH	0%	0%	0%	0%	0%
BulH	0%	0%	0%	0%	0%
EiWH	29%	16%	0%	0%	0%
EiSH	0%	0%	0%	0%	0%
EilH	0%	0%	0%	0%	0%

Die Darstellung der Portfoliozusammensetzung bei Maximierung des Sicherheitsäquivalents für starke Risikoaversion (vgl. Tabelle 69) steht auch stellvertretend für normale Risikoaversion und die Verlustwahrscheinlichkeit. Zunächst ist festzustellen, dass die Annuität mit steigenden Zinssätzen sinkt und gleichzeitig das Risiko ansteigt. Der Eichenwertholzbestand scheidet bei relativ geringen Zinssätzen aus. Gleichzeitig steigt der Anteil des Fichtenwertholzbestandes bis zu einem Zinssatz von 4 % an. Für einen Zinssatz von 5 % ist sein Anteil dann wesentlich geringer, der Fichtensägeholzbestand fehlt ganz und dafür dominiert der Fichtenindustrieholzbestand. Besonders bei Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit sind noch andere Bestände mit geringeren Anteilen vertreten. Daneben ist der Fichtenindustrieholzbestand bereits ab einem Zinssatz von 1 % beteiligt, während die Entwicklungstrends der beiden anderen Fichtenbestände bis zu einem Zinssatz von 4 % teilweise gegenläufig zu dem hier dargestellten sind.

Auch bei der Betrachtung des Expected Shortfall sinkt die Annuität mit steigenden Zinssätzen ab und das Risiko erhöht sich (vgl. Tabelle 70). Tabelle 70 steht zudem stellvertretend für eine Optimierung nach dem VaR und den LPMs erster und zweiter Ordnung, die alle ähnliche Grundtendenzen zeigen. Mit steigendem Zinssatz reduziert sich der Anteil des Fichtensägeholzbestandes sehr deutlich. Ab einem Zinssatz von 2 % ist dafür der Fichtenindustrieholzbestand mit einem stark ansteigenden Anteil beteiligt. Der Eichenwertholzbestand scheidet mit dem Überschreiten seiner Rendite aus, wohingegen für einen Zinssatz von 5 % der Kiefernindustrieholzbestand trotz schwach negativer Annuität einen nennenswerten Anteil am vorteilhaften Portfolio einnimmt. Somit werden fast drei Viertel des vorteilhaften Portfolios von Industrieholzbeständen eingenommen. Diesen Anteil hält der Fichtenindustrieholzbestand bei Betrachtung des VaR nahezu alleine, nachdem der Anteil des Kiefernindustrieholzbestandes nur gering ist. Zudem tritt dieser Fichtenbestand beim VaR erst für einen Zinssatz von 3 % in

der vorteilhaften Mischung auf. Bei den vorteilhaften Portfolios nach den LPMs erster und zweiter Ordnung sind daneben für Zinssätze von 3 % und 4 % Kiefern- und Buchenbestände in erheblichem Umfang beteiligt.

Tabelle 70 Veränderung der nach dem Expected Shortfall vorteilhaften Portfolios aus „optimierten“ Beständen mit von 1 % auf 5 % steigenden Zinssätzen

Zinssatz	1%	2%	3%	4%	5%
Annuität in €/ha*a	291	164	91	59	25
Expected Shortfall in €/ha*a	134	68	31	5	-13
Anteile					
FiWH	32%	26%	24%	26%	20%
FiSH	38%	33%	26%	25%	9%
FiiH	0%	13%	30%	49%	49%
KieWH	0%	0%	0%	0%	0%
KieSH	0%	0%	0%	0%	0%
KieiH	0%	0%	0%	0%	22%
BuWH	0%	0%	0%	0%	0%
BuSH	0%	0%	0%	0%	0%
BuiH	0%	0%	0%	0%	0%
EiWH	30%	28%	19%	0%	0%
EiSH	0%	0%	0%	0%	0%
EiiH	0%	0%	0%	0%	0%

Insgesamt ist zu beobachten, dass für hohe Zinssätze überwiegend Fichtenbestände die vorteilhaften Mischungen bilden. Dabei ist eine deutliche Reduktion des Anteils der Fichtenbestände zur Sägeholzproduktion bei gleichzeitig zunehmender Dominanz des Fichtenindustrieholzbestandes zu beobachten. Teilweise tritt für hohe Zinssätze auch noch der Kiefernindustrieholzbestand hinzu. Somit gewinnen mit steigenden Zinssätzen Bestände an Bedeutung, die eine kurze Umtriebszeit und eine vergleichsweise geringe Anfangsinvestition haben, aber auch ein Produkt hervorbringen, für das nur relativ niedrige Preise erzielt werden. Von den Laubholzbeständen spielt vor allem der Eichenwertholzbestand eine wichtige Rolle, ist aber maximal bis zu einem Zinssatz von 4 % beteiligt. Teilweise nehmen auch Buchenbestände, hier besonders der Wertholzbestand, größere Anteile des Portfolios ein. Wiederum ist zu beobachten, dass sich die Gruppen von Risikokennzahlen, deren vorteilhafte Portfolios sich ähnlich verändern, anders zusammensetzen.

Vergleicht man die optimalen Portfolios aus konventionell erzeugten und „optimierten“ Beständen für die alternativen Zinssätze ist in drei Fällen (Standardabweichung, Zinssatz 1 %; LPM₁, Zinssatz 3 %; LPM₂, Zinssatz 3 %) das Risiko und die Annuität in den Portfolios aus „optimierten“ Beständen geringer. Würde man in diesen drei Fällen das Risiko der Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen akzeptieren, wäre die Annuität des Portfolios aus „optimierten“ Beständen wesentlich höher. Daneben zeigt sich in vielen Fällen, dass die Portfolios aus „optimierten“ Beständen vergleichbaren Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen überlegen sind.

6 Diskussion

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden die zu Beginn (vgl. Kapitel 2.2) gestellten Hypothesen aufgegriffen und, wenn möglich, falsifiziert. Für die Hypothesen 1 bis 3 werden dazu die Ergebnisse der Methodenstudie herangezogen, die Überprüfung der Hypothese 4 mit ihren Unterhypothesen erfolgt anhand der Ergebnisse der Szenarioanalyse. Im Anschluss daran werden das verwendete Datenmaterial sowie die angewendeten Methoden diskutiert und die Studie in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet. Abschließend werden Schlussfolgerungen für die Wissenschaft und die Praxis gezogen.

6.1 Beantwortung der Hypothesen

Hypothese 1

Als erstes soll anhand der ermittelten Ergebnisse die Frage geklärt werden, ob durch die Produktion unterschiedlicher Sortimente der vier Hauptbaumarten Diversifikationseffekte auftreten. Hierfür werden die Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen herangezogen, um bei der Überprüfung von Hypothese 2 die Unterschiede bei Mischung der „optimierten“ Bestände herausarbeiten zu können. Die erste hier zu beantwortende Hypothese lautet wie folgt:

- **Hypothese 1: Durch die Produktion von Industrieholz, Sägeholz und Wertholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche ergeben sich keine Diversifikationseffekte.**

Die Betrachtung von Standardabweichung, VaR und Expected Shortfall zeigt deutliche Risikosenkungen durch Mischungsbildung, während sie bei den anderen Risikomaßen eher gering sind. Daneben ermöglicht die Portfoliobildung höhere Annuitäten bei gleichem oder sogar geringerem Risiko. Die Optimierung von Portfolios nach den einzelnen Risikomaßen führt, mit Ausnahme der Standardabweichung zu deutlich überproportionalen Risikoreduktionen im Vergleich zur Abnahme der Annuität gegenüber dem Einzelbestand mit höchster Annuität. Damit kann Hypothese 1 als widerlegt gelten, da sich durch die Mischung von unterschiedlichen konventionell erzeugten Beständen und damit der Produktion verschiedener Baumarten und Sortimente deutliche Diversifikationseffekte ergeben.

Hypothese 2

Ob die aus „optimierten“ Beständen gebildeten Portfolios tatsächlich größere Diversifikationseffekte zeigen als die Mischungen aus konventionell erzeugten Beständen, soll mit der Beantwortung der zweiten Hypothese geklärt werden.

- **Hypothese 2: Aus den „optimierten“ Beständen zusammengesetzte Portfolios weisen keine höheren Diversifikationseffekte auf als die aus konventionell bewirtschafteten Beständen.**

Die absolute Verbesserung der Risikomaße des vorteilhaften Portfolios gegenüber dem Bestand mit höchster Annuität ist bei den Portfolios aus „optimierten“ Beständen stets größer als bei Mischungen von konventionell erzeugten Beständen. Allerdings sind die dafür in Kauf zu nehmenden Abschläge bei der Annuität ebenfalls größer. Aus den Diagrammen zu den effi-

zienten Portfolios im Vergleich zu den einzelnen „optimierten“ Beständen können zudem deutlich größere Diversifikationseffekte als bei den konventionell behandelten Beständen abgeleitet werden. Aufgrund der zu beobachtenden deutlich größeren Diversifikationseffekte gilt die zweite Hypothese als widerlegt.

Bei diesen Ergebnissen muss jedoch bedacht werden, dass diese Portfolios doppelt so viele Bestandteile enthalten könnten wie die aus konventionell behandelten Beständen und tatsächlich auch deutlich mehr Bestände beteiligt sind. Schon bei gleichen Korrelationen würde eine steigende Anzahl an Mischungskomponenten das Risiko senken (JORION, 2001). Allerdings sind die Korrelationen zwischen den „optimierten“ Beständen zusätzlich geringer, was als Erfolg der Trennung der Sortimentsanfälle und der zeitlichen Streuung durch die unterschiedlichen finanziell vorteilhaften Umtriebszeiten gewertet werden kann.

Hypothese 3

In der dritten Hypothese soll geklärt werden, ob die unterschiedlichen Ansätze zur Portfoliooptimierung zu verschiedenen Ergebnissen führen und damit einen kritischen Einfluss auf das Ergebnis haben.

- **Hypothese 3: Die Zusammensetzung der vorteilhaften Portfolios hängt nicht vom verwendeten Optimierungsansatz ab.**

Grundsätzlich war zu beobachten, dass bei Verwendung der Downside-Risikomaße auch bei höheren Annuitäten mehr Bestände an den effizienten Portfolios beteiligt waren als beim klassischen MARKOWITZ-Ansatz. Gleichzeitig waren die Anteile der Bestände deutlich variabler und unterschieden sich teilweise sehr stark von denen des klassischen Ansatzes. In der Methodenstudie lagen die Annuitäten der vorteilhaften Portfolios aus konventionell behandelten Beständen weniger als 1 €/ha*a auseinander, mit Ausnahme des nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios, das sich immer stark von den übrigen unterschied. Gleichzeitig veränderte sich der Anteil der geasteten Fichtenbestände zugunsten der ungeasteten um fast 15 Prozentpunkte. Die optimalen Portfolios aus den finanziell „optimierten“ Beständen wichen stets deutlich voneinander ab und die Unterschiede in den Annuitäten betragen (ohne Berücksichtigung des nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios) bis zu 60 €/ha*a. Nach diesen Ergebnissen ist die dritte Hypothese widerlegt, da sich zeigt, dass die einzelnen Risikomaße zu sehr unterschiedlichen Empfehlungen führen.

Allerdings ergeben die LPMs erster und zweiter Ordnung meistens sehr ähnliche bis identische vorteilhafte Portfolios. Das Sicherheitsäquivalent für starke Risikoaversion liefert zudem nie ein Portfolio mit höherer Annuität als die Optimierung für normale Risikoaversion. Zudem führt der Expected Shortfall in den allermeisten analysierten Fällen zu Portfolios mit geringerer Annuität als der VaR. Insgesamt kann aber keine einheitliche Reihung der Risikokennzahlen z.B. nach der Annuität des vorteilhaften Portfolios aufgestellt werden.

Hypothese 4.1

Nach der Beantwortung der ersten drei Hypothesen zu methodischen Aspekten, werden zunächst die drei Unterhypothesen zu den Effekten variierender Eingangsgrößen betrachtet, um daraus eine Antwort für die vierte Hypothese ableiten zu können. Als erstes werden die Auswirkungen von möglichen Veränderungen des Holzmarktes analysiert:

- **Hypothese 4.1: Unterschiedliche Holzpreismodelle führen nicht zu einer veränderten Zusammensetzung der optimalen Portfolios.**

Ein Vergleich der vorteilhaften Portfolios beim Preismodell „Brennholz“ mit der Referenz aus der Methodenstudie zeigt bei den Mischungen aus konventionell erzeugten Beständen nur geringe Veränderungen, während bei den „optimierten“ Beständen besonders der Fichtenindustrieholzbestand an Gewicht gewinnt. Für das Preismodell „Energie“ bestehen die optimalen Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen nur aus Fichte, wobei der Anteil des geasteten Fichtenbestandes zumeist deutlich geringer ausfällt. In diesem Preismodell reduzieren sich unter den „optimierten“ Beständen besonders die Anteile der Wertholzbestände an den vorteilhaften Portfolios. Dafür treten in mehreren Fällen auch die Säge- und Industrieholzbestände von Kiefer und Buche neu hinzu. Durch die beobachteten deutlichen Veränderungen in der Zusammensetzung der vorteilhaften Portfolios in Folge geänderter Holzpreise, ist die Hypothese 4.1 widerlegt.

Hypothese 4.2

Die Ergebnisse der Szenarioanalyse zum veränderten Kalamitätsrisiko dienen zur Betrachtung der Hypothese 4.2, die wie folgt lautet:

- **Hypothese 4.2: Ein erhöhtes Risiko von Naturgefahren, insbesondere für die Fichte, führt zu keiner Veränderung der optimalen Portfolios.**

Die vorteilhaften Portfolios aus konventionell behandelten Beständen zeigen zumeist eine Reduktion des Anteils des geasteten Fichtenbestandes zugunsten des ungeasteten. Besonders stark sinken diese Anteile bei den optimalen Portfolios nach den LPMs erster und zweiter Ordnung, hauptsächlich zugunsten der neu hinzutretenden Kiefernbestände. Bei den vorteilhaften Mischungen aus finanziell „optimierten“ Beständen bewirkt eine Erhöhung des Risikos von Kalamitäten eine starke Reduktion der Anteile der Fichtensägeholz- und Eichenwertholzbestände. Für diese treten teilweise Buchen- und Kiefernbestände mit erheblichen Anteilen hinzu. Deshalb kann die Hypothese 4.2 als widerlegt betrachtet werden, da sich die optimalen Portfolios durch eine Steigerung der Kalamitätsgefahr immer ändern. So sind für ein höheres Kalamitätsrisiko oftmals mehr Bestände in den Portfolios beteiligt oder die Anteile sind gleichmäßiger verteilt.

Hypothese 4.3

Als dritter variabler Faktor neben der Holzpreisentwicklung und der Veränderung des Risikos von Kalamitäten wurden auch die Auswirkungen einer Variation des Kalkulationszinssfußes untersucht. Die dazugehörige Hypothese 4.3 lautet wie folgt:

- **Hypothese 4.3: Eine Variation des Kalkulationszinssfußes führt zu keiner Veränderung der Zusammensetzung der optimalen Portfolios.**

Die Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen bestehen bei allen gewählten Zinssätzen immer nur aus Fichtenbeständen, wobei sich der Anteil des geasteten Bestandes mit steigendem Zinssatz zunehmend reduziert. Für alternative Zinssätze sind an den vorteilhaften Portfolios aus den finanziell „optimierten“ Beständen teilweise auch Kiefern- und Buchenbestände beteiligt. Besonders der Anteil des Fichtenindustrieholzbestandes profitiert sehr von

steigenden Zinssätzen. Aufgrund dieser Ergebnisse kann die Hypothese 4.3 als widerlegt angesehen werden.

Hypothese 4

Nach der Widerlegung der Hypothesen 4.1 bis 4.3 soll jetzt die die Fragestellungen der Szenarioanalyse zusammenfassende Hypothese 4 betrachtet werden:

- **Hypothese 4: Geänderte Rahmenbedingungen führen nicht zu einer veränderten Zusammensetzung der optimalen Portfolios.**

Für alle betrachteten Szenarien wurden deutliche Veränderungen in der Zusammensetzung der vorteilhaften Portfolios festgestellt. Folglich konnten auch die Unterhypothesen 4.1 bis 4.3 allesamt widerlegt werden. Damit gilt dies ebenso für die Hypothese 4.

6.2 Datenmaterial

Das verwendete Datenmaterial hat einen bedeutenden Einfluss auf die erzielten Ergebnisse. Aus diesem Grund wird im Folgenden intensiv auf die Entwicklung der Bestände eingegangen. Anschließend werden die Aspekte des Kalamitätsrisikos und die Probleme von Prognosen diskutiert.

6.2.1 Abbildung der Bestandesentwicklung

Als erstes soll hier überprüft werden, wie realitätsnah die mit dem Waldwachstumssimulator SILVA (z.B. PRETZSCH, 2000) ermittelten Bestandesdaten der konventionell behandelten Bestände sind. Dazu werden die durchschnittlichen jährlichen Derbholzzuwächse der Bestände herangezogen. Diese liegen bei der Fichte am höchsten mit 9,3 Efm/ha*a, gefolgt von der Buche mit 5,7 Efm/ha*a, während die Kiefer einen Zuwachs von 3,9 Efm/ha*a und die Eiche von 3,3 Efm/ha*a aufweist. Die Zuwächse wurden mit den in der Bundeswaldinventur für Bayern ermittelten durchschnittlichen Derbholzzuwächsen verglichen (BMELV, 2005a). Die Fichte erreichte in den SILVA-Simulationen nur 69 % der BWI²-Zuwächse, während die der Kiefer bei 53 %, der Buche bei 51 % und der Eiche bei 46 % lagen. Nach diesem Vergleich ist festzustellen, dass hier die tatsächlichen Zuwächse deutlich unterschätzt wurden, jedoch war die oftmals als überlegen ermittelte Fichte hiervon am wenigsten betroffen.

Allerdings werden in dieser Studie keine im Laufe der Umtriebszeit absterbenden Bäume berücksichtigt. Ebenso unberücksichtigt sind die Effekte unterschiedlicher Durchforstungskonzepte. Nachdem in dieser Untersuchung der durchschnittliche Zuwachs über eine Umtriebszeit ermittelt wurde, entspricht dieser dem Zuwachs einer normal ausgestatteten Betriebsklasse. Dagegen weichen die tatsächlichen Altersklassenverteilungen davon deutlich ab (BMELV, 2005a), so dass noch Effekte einer unterschiedlichen Alterszusammensetzung hinzukommen. Eine weitere Ursache könnte darin liegen, dass sich das Wachstum der Baumarten zuletzt deutlich verändert hat (z.B. PRETZSCH, 1999). Dies spiegelt sich in den aktuellen Zuwächsen, die in der Bundeswaldinventur ermittelt wurden wieder, während die Versuchsflächendaten und damit die Grundlagendaten für das Waldwachstumsprogramm SILVA weiter in die Vergangenheit zurückreichen und damit die jüngsten Entwicklungen überdeckt wurden. So ähneln die in dieser Studie ermittelten Derbholzzuwächse eher den in älteren Publikationen z.B.

für Baden-Württemberg angegebenen Werten (z.B. ADOMAT, 1965; SIEBENBÜRGER, 1980), als denen, die aus den Ergebnissen der BWI² abgeleitet wurden (BMELV, 2005a). Gleichzeitig ist festzustellen, dass die in der BWI² ermittelten Zuwächse relativ hoch liegen und z.B. für den bayerischen Staatswald der aus der BWI² abgeleitete Zuwachs um 13 % über dem in der betriebseigenen Sichtprobeninventur ermittelten Wert liegt (BaySF, 2008).

Für eine Portfolioanalyse ist neben der tatsächlichen Zuwachshöhe die Relation zwischen den einzelnen Baumarten von ganz besonderer Bedeutung. Zunächst erreicht in dieser Studie die Kiefer 42 % des Derbholzzuwachses der Fichte, bei Buche sind es 61 % und Eiche erzielt lediglich 35 % des Fichtenzuwachses. Damit liegt die Zuwachsrelation bei Kiefer und Buche in der Spannweite der Werte, die in der BWI² für einzelne Bundesländer angegebenen werden (BMELV, 2005a). Ohne Berücksichtigung des Saarlandes, dessen Ergebnisse deutlich von den anderen Bundesländern abweichen (Kiefer im Saarland 34 % der Fichte, sonst 47 % bis 65 %, Buche im Saarland 58 %, sonst 70 % bis 85 %), leisten diese Bestände jedoch in der vorliegenden Studie im Vergleich zur Fichte eindeutig zu wenig. Für die Eiche ist dies besonders klar zu beobachten, wobei eine Erklärung dafür in der hier gewählten, sehr langen Umtriebszeit mit entsprechend niedrigen Zuwächsen im hohen Alter liegen könnte, während die in die BWI² eingehenden Eichenbestände zumeist unter 140 Jahre alt sind (BMELV, 2005a).

Auch im Vergleich zu früheren Literaturstellen über Holzeinschläge und Modelle schneiden Kiefer und Eiche in der vorliegenden Studie im Vergleich zur Fichte zu schlecht ab (z.B. ADOMAT, 1965; SIEBENBÜRGER, 1980; BRANDL, 1988; 1989). Dagegen zeigt sich bei der Buche ein sehr heterogenes Bild. So gibt es einige Studien, die von einem Leistungsverhältnis von Fichte zu Buche von 1:0,6 berichten (z.B. ADOMAT, 1965; BRANDL, 1988; RÖSSLER und NEUMANN, 2006), wie es in der vorliegenden Studie auftrat, oder Kalkulationen auf dieser Grundlage durchführen (MÖHRING, 2004). Daneben gibt es sowohl Untersuchungen, welche die Buche im Verhältnis wesentlich schlechter beurteilen (z.B. MOOSMAYER et al., 1996), als auch deutlich besser (z.B. BRANDL, 1989; BMELV, 2005a). Zusammenfassend kann aber festgestellt werden, dass es starke Abweichungen in der absoluten Volumenleistung und im Verhältnis der Baumarten zwischen den in dieser Studie verwendeten simulierten Wachstumsdaten und den aktuell in den Wäldern gemessenen Werten gibt.

Unabhängig davon, wie groß die systembedingten Anteile des Waldwachstumssimulators an diesen Verschiebungen sind, bleiben derartige Abweichungen unerwünscht und beeinflussen natürlich auch die Portfolios. Allerdings ist zu beachten, dass die „optimierten“ Bestände, mit Ausnahme des Fichten- und Kiefern sägeholzbestandes sowie des Kiefernwertholzbestandes, geringere Zuwächse an verkaufsfähigem Holz aufweisen und dennoch wesentlich höhere Annuitäten liefern. Somit kommen in einer finanziellen Analyse auch noch andere Einflussgrößen wie Ausgaben für die Kultur oder die Umtriebszeit zum Tragen.

Ohne Einfluss von Zinssatzeffekten kann man dies in einem Vergleich der Reinerträge berücksichtigen. In entsprechenden Untersuchungen ist die Fichte, wie auch in der vorliegenden Arbeit, den anderen Baumarten überlegen, gefolgt von der Eiche (z.B. RIPKEN und SPELLMANN, 1980). Bis etwa 1980 wurde die Buche in diesen Untersuchungen schlechter als die Kiefer beurteilt (z.B. ADOMAT, 1965; SIEBENBÜRGER, 1980; RIPKEN und SPELLMANN, 1980). In späteren Studien und ebenso in der vorliegenden Arbeit ist die Buche dann aber der Kiefer nach dem Waldreinertrag überlegen (BRANDL, 1988; 1989). Auch in langfristigen Be-

triebsvergleichen sind die Ergebnisse der laubholzdominierten Forstbetriebe deutlich besser als die der Kiefernbetriebe (z.B. LEEFKEN et al., 2006; MÖHRING und VOLCKENS, 2006). Somit entspricht die Reihung der Baumarten in der vorliegenden Untersuchung den Ergebnissen neuerer Studien, während es bei den Relationen zwischen den Baumarten Abweichungen (vgl. BRANDL, 1988; 1989) gibt. Besonders die Kiefer schneidet in dieser Studie erstaunlich gut ab. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die unterstellte Kulturbegründung aller konventionell erzogenen Bestände am Vorgehen im Bayerischen Staatswald orientiert, während für die Kiefernkultur gemäß der Empfehlung von BEINHOFER und KNOKE (2009) mit einer deutlich geringeren Begründungsdichte kalkuliert wurde.

Unter den „optimierten“ Beständen hingegen weist die Buche geringere Reinerträge auf als die Kiefer, was an den geringeren Volumenleistungen der Wert- und Sägeholzbestände, den unterstellten, schlechten Holzqualitäten im Sägeholzbestand sowie den geringen Nettoerlösen und der längeren Umtriebszeit im Industrieholzbestand liegt. Innerhalb der „optimierten“ Laubholzbestände sind besonders die Unterschiede zwischen den Reinerträgen der Wertholzbestände auffällig. Wesentliche Gründe für die Überlegenheit des Eichenbestandes könnten die mehr als viermal so hohen Holzpreise, die um 50 % höhere Endbaumzahl je Hektar und die um 70 % höhere Wertholzmenge sein, welche die höheren Ausgaben mehr als ausgleichen.

Auf den ersten Blick scheint auch die Bestandessimulation der einzelnen Baumarten für unterschiedliche Wuchsgebiete eine Quelle für erhebliche Verzerrungen zu sein. Ausgehend von der Fichte, die für das Oberbayerische Tertiärhügelland abgebildet wurde, sollen die Effekte auf die anderen Baumarten, durch Wahl anderer Wuchsgebiete, dargestellt werden. Zunächst wurde das potenzielle Höhenwachstum für das Alter 100 in SILVA verglichen. Durch die Verwendung anderer Wuchsgebiete als des Oberbayerischen Tertiärhügellandes wurde das Höhenwachstum der Buche leicht über- und das der Kiefer etwas unterschätzt, während es auf die Eiche keinen Einfluss hatte. Zur Evaluation des Einflusses auf die Massenleistung der Bestände wurde der dgz_{100} der einzelnen Baumarten für die verschiedenen Wuchsgebiete bestimmt. Die Wuchsleistung stimmte bei den Eichenbeständen ebenso überein, während der dgz_{100} der Buche durch die Wahl des Wuchsgebiets Spessart etwas höher ausfiel (+0,14 Efm/ha*a), wenngleich die Zufallsstreuung der einzelnen Simulationswiederholungen größer war als der Unterschied. Dies galt auch für die Kiefer, wobei der mittlere dgz_{100} im Wuchsgebiet Oberpfälzer Becken- und Hügelland etwas niedriger (-0,4 Efm/ha*a) als im Oberbayerischen Tertiärhügelland war. Somit sind die Verschiebungen durch die Wahl unterschiedlicher Wuchsgebiete als minimal einzustufen und kommen hauptsächlich der Buche zugute, während die Kiefer unterschätzt wird.

Das grundsätzliche Problem der „optimierten“ Bestände bezüglich der Abbildung der Bestandesentwicklung ist, dass sie auf den unterschiedlichsten Datenquellen basieren, wodurch Verzerrungen zu erwarten sind. Leider war es nicht möglich, für diese heute teilweise unkonventionellen Behandlungsvarianten, eine einheitliche Datenquelle für alle Baumarten zu finden. In der Abwägung erschien es wichtiger, auf die Möglichkeiten mit „optimierten“ Beständen gerade beim Laubholz hinzuweisen, auch wenn dafür sehr unterschiedliche Datenquellen in Kauf genommen werden mussten. Für die Zukunft wäre es wünschenswert, für diese Bestände eine breitere und einheitlichere Datengrundlage zu erarbeiten.

Daneben könnte am Vorgehen in dieser Studie kritisiert werden, dass von Pflanzung auf einem homogenen Standort ausgegangen wird, auf dem alle Baumarten angebaut werden können und auf dem alle Baumarten entsprechend der simulierten Bestandesentwicklung wachsen. In der Realität wachsen auf dem gleichen Standort die Baumarten aber oft sehr unterschiedlich oder einzelne sind gar nicht möglich. Beispielsweise wird die Kiefer auf Standorten angebaut, auf denen andere Baumarten kaum möglich sind, was bei einer Übertragung auf die Praxis durch entsprechende Restriktionen berücksichtigt werden müsste. In dieser Studie zum Test der Portfoliotheorie und verschiedenster Risikomaße im forstlichen Kontext und zur Ableitung der Folgen möglicher Szenarien, ist dies dagegen nicht von so großer Bedeutung und wurde in bisherigen Studien auch nicht berücksichtigt. So wurde bisher beispielsweise vereinfachend unterstellt, dass entsprechend wachsende Wälder der Baumarten jederzeit gekauft werden können (z.B. WEBER, 2002). Auch ist zu betonen, dass es nicht Ziel dieser Arbeit ist und sein kann, ein optimales Baumartenportfolio für ganz Bayern bzw. jeden bayerischen Waldbesitzer aufzustellen. Dazu müssten beispielsweise die jeweilige Ausgangssituation mit der Chance von Naturverjüngung genauso wie die unterschiedlichen Eigentümerziele berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 6.5.3.1).

6.2.2 Wertholzbestände

Die Wertholzbestände unterscheiden sich in ihrer Erziehung deutlich von den heute üblichen Waldbaukonzepten, da z.B. die Astung von Laubholz in Deutschland absolut ungewöhnlich wenngleich möglich ist. Für eine ausführliche Diskussion des unterstellten Wachstums und der angenommenen Holzqualitäten der Wertholzbestände sowie der Astung von Laubholz sei auf BEINHOFER (2008c; 2009a) verwiesen. Es bleibt aber zu überlegen, ob in zukünftigen Kalkulationen von Nadelwertholzbeständen das über dem Erdstamm anfallende sehr astige Holz nicht, analog zum Laubholz, dem Industrieholz zugerechnet werden sollte.

Insgesamt ist anzumerken, dass die Astung der Eiche in dieser Studie sehr günstig bewertet wurde und lediglich ein kleiner Sicherheitspuffer an in der ersten Stufe zusätzlich geasteten Bäumen vorhanden war. Ansonsten wurde davon ausgegangen, dass alle auf die endgültige Höhe geasteten Erdstämme Wertholz und nicht, wie bei Buche, einen gewissen Anteil an Holz schlechterer Qualität liefern. Damit entspricht das Vorgehen dem bei den geasteten Nadelholzbeständen. Dies lässt sich damit begründen, dass in der Literatur die Eichenastung, im Gegensatz zur Buche, als weitgehend problemlos dargestellt wird. Daneben wird in der vorliegenden Studie von der Anlage eines Nebenbestandes ausgegangen, der den geasteten Schaft beschattet, so dass nicht mit Wasserreisern zu rechnen ist. Darüber hinaus sind die Kronen der Einzelbäume nicht eingeklemmt, weswegen auch die Gefahr von „Angstreisern“ gering ist.

Zudem ist zu beachten, dass bei der Eiche, wie bei allen Baumarten, nicht die höchste Wertholzqualität unterstellt wurde, sondern mit einem Durchschnittspreis über alle Wertholzsortierungen gerechnet wurde. So würden kleinere Holzfehler an einigen Stämmen die Kalkulation nicht in Frage stellen. Dennoch hat die unterstellte absolute Wertholzmenge natürlich einen großen Einfluss auf die Höhe der Annuitäten. Würde ähnlich dem Vorgehen bei der Buche z.B. 20 % des Erdstammvolumens dem C-Holz zugeordnet, sinkt die Annuität um etwa 30 €/ha*a, liegt aber im Vergleich zu den anderen „optimierten“ Beständen immer noch an

dritter Stelle und im positiven Bereich. Dagegen bewirkt im konventionellen Eichenbestand selbst ein um 50 % höherer Wertholzanzahl nur eine Veränderung der Annuität im Nachkommabereich, welche somit maßgeblich von den hohen Ausgaben für Bestandesbegründung und Pflege sowie der langen Umtriebszeit bestimmt wird.

6.2.3 Säge- und Industrieholzbestände

Die Nadelholzbestände zur Sägeholzproduktion wurden gemäß konventionellem Vorgehen begründet und behandelt. Die Naturaldaten sind dieselben, wie bei den konventionell erzeugten Beständen. Nur die Umtriebszeit wurde finanziell optimiert und ist entsprechend kurz. Die finanziell optimale Bestandesbehandlung wurde ebenso bestimmt. Nur durch diese vergleichsweise geringen Änderungen erhöhte sich die Annuität bei Kiefer und Fichte um 25 €/ha*a (Zinssatz 2 %).

Die Laubholzbestände zur Sägeholzproduktion basieren auf Daten von tatsächlich auf diese Weise begründeten Beständen, die allerdings noch nicht hiebsreif sind, sodass sie mit dem Waldwachstumssimulator fortgeschrieben werden mussten. Somit unterscheidet sich die Qualität der Naturaldaten nur wenig von den konventionell erzeugten Beständen. Die Qualitätsanteile dieser weitständig begründeten Laubholzbestände konnten allerdings nur geschätzt werden. Hierbei wurde bewusst eine sehr schlechte Qualitätsverteilung unterstellt, um die Einnahmen aus diesen Beständen keinesfalls zu überschätzen. Dennoch erhöhte sich die Annuität dieser Laubholzbestände gegenüber den konventionell behandelten, durch kürzere Umtriebszeiten und Einsparungen bei den Ausgaben, z.B. für die Kultur drei bis viermal so stark wie beim Nadelholz (Zinssatz 2 %). Zu einer ausführlichen Diskussion der Laubsägeholzbestände siehe auch BEINHOFER (2008c).

Die Naturaldaten der Nadelholzbestände zur Industrieholzproduktion haben eine relativ sichere Datengrundlage, wurden sie doch auf Versuchsflächen gemessen. Ihre Volumenleistung wurde allerdings eher unterschätzt, da in diese Kalkulation nur die Volumina von Bäumen eingehen, die nach dem Ersteintritt auf den Versuchsflächen belassen wurden. Nachdem die Versuchsflächen nicht weitständig begründet wurden, fehlt den verbleibenden Bäumen Volumenzuwachs aus der Zeit in der sie mit den Nachbarbäumen in Interaktion traten. Auch die Naturaldaten der Laubholzbestände zur Industrieholzproduktion basieren auf gemessenen Daten, die ebenfalls für die Sägeholzbestände herangezogen wurden. Für den Buchenbestand wurden die gemessenen Daten direkt verwendet, während sie beim Eichenbestand nur über einen vergleichsweise kurzen Zeitraum von etwa 30 Jahren fortgeschrieben wurden. Somit erscheint auch für die Laubholzbestände zur Industrieholzproduktion die Datengrundlage relativ verlässlich.

Für das in diesen Beständen produzierte Industrieholz spielt daneben die Qualität, gekennzeichnet durch breite Jahrringe und starke Äste keine Rolle. Lediglich die Aufarbeitungskosten sind dadurch höher, was auch in der Kalkulation berücksichtigt wurde (+2,5 €/fm). Diese erhöhten Aufarbeitungskosten führen dazu, dass die Industrieholzbestände aus Nadelholz trotz gleicher Datengrundlage geringere Annuitäten als bei BEINHOFER (2009b) aufweisen, der ohne diesen Aufschlag kalkulierte. Daneben ist zu berücksichtigen, dass in diesen Beständen vor allem beim Laubholz mit relativ hohen Aufarbeitungszöpfen gerechnet wurde. So

sind besonders im Rahmen der Biomassenutzung noch zusätzliche Potenziale vorhanden und weitere Einnahmen möglich, auch bedingt durch Baumarten, die sich zusätzlich auf diesen Flächen natürlich ansamen.

6.2.4 Einschätzung des Kalamitätsrisikos

Ein grundsätzlicher Kritikpunkt an den z.B. von KNOKE et al. (2005) oder BEINHOFER (2008b) sowie in dieser Studie verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten ist, dass sie lediglich vom Alter abhängen. Weitere Merkmale der Bestände oder von Einzelbäumen gehen nicht in diese Betrachtung ein. Besonders in den weitständig erzogenen Beständen entwickeln sich jedoch ganz andere Baumgestalten mit entsprechend hoher Einzelbaumstabilität, so dass das Kalamitätsrisiko mit den verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten überschätzt wird. Allerdings ist es nicht möglich, Überlebenswahrscheinlichkeiten mit Berücksichtigung der Bestandeserziehung aus der Literatur zu entnehmen, da dies noch ein neues, weites Forschungsfeld ist. So stellen die hier verwendeten altersabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeiten eine erste wertvolle Annäherung dar.

Daneben muss bedacht werden, dass die Funktionen der Kiefer, besonders aber der Eiche auf einer nur dünnen Datengrundlage basieren und zudem über weite Strecken extrapoliert wurden. Dies war erforderlich, da die Angaben von DITTRICH (1985) bzw. bei Kiefer auch von POZNANSKI (1973) für ältere Bestände neben den naturbedingten Risikofaktoren auch vorzeitige Endnutzungen enthalten. Allerdings zeigte sich, dass die im Referenzszenario verwendeten Funktionen bei Anwendung auf verschiedene Altersklassenverteilungen ZE-Anfälle in einem heute realistischen Bereich ergeben. Auch wäre ein Verzicht auf die Kalamitätsberücksichtigung unrealistisch und den Ergebnissen noch viel stärker anzulasten.

Die Relation der verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten von Buche und Kiefer (vgl. Abbildung 5) unterscheidet sich jedoch deutlich von den Ergebnissen von VON LÜPKE und SPELLMANN (1999), die in einer Analyse der Sturmschäden des Jahres 1990 eine deutlich stärkere Anfälligkeit der Kiefer im Vergleich zur Buche feststellten. Um diesen Unterschied aufzuklären, sind weitere Untersuchungen erforderlich (vgl. Kapitel 6.5.2.1). VON LÜPKE und SPELLMANN (1999) zeigten daneben für Fichte die größte und für Eiche die geringste Anfälligkeit gegenüber Sturmschäden, was mit der Einschätzung über die verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten übereinstimmt.

6.2.5 Probleme mit Prognosen

Ein großes Problem ist, dass häufig und auch in der vorliegenden Studie versucht wird, mögliche zukünftige Risiken bzw. deren Abpufferung mit den Daten der Vergangenheit vorherzusagen. Dabei wird eine Stabilität der Risikobeziehungen unterstellt, so dass Veränderungen von Risiken, Erträgen und Korrelationen ein großes Problem darstellen. Es besteht dadurch immer die Gefahr, dass eine große Veränderung, z.B. ein plötzlicher Nachfrageboom eines Produkts, zu deutlich anderen Vorteilhaftigkeiten führt. So bewirken unterschiedliche Zeiträume aus denen die Holzpreise stammen im Vergleich zu anderen Studien (z.B. KNOKE et al., 2005) unterschiedliche vorteilhafte Portfolios (vgl. Kapitel 6.4.2). Dieser methodischen Schwächen sollte sich der Anwender bewusst sein, so dass die getroffenen Grundannahmen

stets kritisch hinterfragt werden sollten und Modelle weiterentwickelt werden müssen. Geht es um Risikoverbundeffekte, sollte besonders die große Unsicherheit bei der Prognose von Korrelationen berücksichtigt und über Szenarioanalysen die damit verbundenen Risiken beleuchtet werden (DOWD, 1998; MEYER, 1999). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, mit Hilfe der Szenarioanalyse unterschiedliche mögliche Zukunftsentwicklungen abzuprüfen.

Grundsätzlich besteht die Frage, ob über die hier betrachteten Zeiträume überhaupt finanzielle Aspekte dargestellt werden können. Allerdings sind die langen Zeithorizonte ein grundsätzliches Problem in der Forstwirtschaft, das genauso für Wachstumsprojektionen (z.B. Ertragstafeln) oder waldbaulichen Behandlungskonzepten zutrifft. Auch hier ändern sich Wachstum und/oder Ziele bzw. Konzepte verschieben sich schneller, als sich eine Baumgeneration „planmäßig“ entwickeln kann. Selbst die Standortsbedingungen verändern sich innerhalb einer Baumgeneration, wie die Zuwachsveränderungen der letzten Jahrzehnte (z.B. PRETZSCH, 1999) oder die aktuelle Klimawandeldiskussion (z.B. KÖLLING et al., 2007) zeigen. Somit ist auch die Datengrundlage des bisherigen Weges der Baumartenwahl über diese langen Zeiträume unsicher. Daneben ignoriert das bisherige Vorgehen finanzielle Aspekte, die in der vorgestellten Methodik bestmöglich, inklusive möglicher Veränderungen durch Szenarioanalysen, berücksichtigt wurden. Auch zeigen die letzten Jahrhunderte eine gewisse Überlegenheit des nach den erzielten Ergebnissen oft vorteilhaften Nadelholzes z.B. bezüglich Volumenleistung und vermutlich auch finanziell, würde es doch sonst in den heutigen Wäldern nicht so große Anteile einnehmen.

6.2.5.1 Unsicherheit der Holzpreisentwicklung

Unter den momentan zu beobachtenden Veränderungen auf dem Holzmarkt, erscheinen die in den alternativen Preismodellen unterstellten Entwicklungen durchaus möglich. Allerdings erfolgte die Festlegung der Stärkeklasse im Preismodel „Brennholz“, bis zu der das Holz einer energetischen Nutzung zugeführt wird, relativ willkürlich, was aber für eine Wenn-dann-Betrachtung vertretbar erscheint. Aufgrund der zu beobachtenden Holzpreise für die verschiedenen Stärkeklassen ist allerdings zu erwarten, dass, wie hier unterstellt, beim Laubholz eine energetische Nutzung bis hin zu höheren Stärkeklassen erfolgt als beim Nadelholz. Auch die daraus folgenden größeren Preissteigerungen für Laubholz erscheinen plausibel, bedingt durch den höheren Energiegehalt (z.B. LWF, 2003) und die größere Beliebtheit als Scheitholz, das im Hausbrand eine bedeutende Rolle spielt (MANTAU, 2006). Das Brennholzsortiment IH+ wird allerdings bei Kiefer schlechter bezahlt, während die Preise der übrigen Baumarten sehr ähnlich sind. So wäre zu überlegen, ob in zukünftigen Studien nicht eine höhere Stärkeklassenschwelle bei Kiefer verwendet werden sollte, um für alle Baumarten ein ähnliches Preisniveau zu erzielen und die Kiefer nicht einseitig zu benachteiligen.

Aufgrund des hohen prognostizierten Heizölpreises (EWI/Prognos, 2006) sind die Holzpreise im Preismodell „Energie“ deutlich höher als heute. Zudem wird dieser Preis für das gesamte geerntete Holz erzielt, ohne Berücksichtigung der Holzqualität und der Dimension, die sich nur auf die Erntekosten auswirkt. So kommt es im Vergleich zu den anderen Preismodellen zu einer massiven Steigerung der Annuitäten. Aufgrund der zu diesem Thema durchgeführten Studien und der schon heute zu erkennenden Entwicklung bei der energetischen Nutzung von

Holz, erscheint dieses Preismodell zumindest langfristig ebenfalls möglich, wenngleich es sich aus heutiger Sicht um eine Extremvariante handelt.

Die nach wie vor starke Stellung der Fichte beim Preismodell „Energie“, besonders auch in den Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen, mag zunächst überraschen, zeigt das Laubholz doch deutlich höhere Energiegehalte als das Nadelholz (z.B. LWF, 2003). Zwar hat die Fichte die geringsten Energiegehalte, dies wird aber durch die größere Massenleistung überkompensiert. So zeigt sich auch in der Studie von STANG und BEINHOFER (2007b) eine aus energetischer Sicht große Überlegenheit der Fichte. Aufgrund der Kombination aus Zuwachs und Energiegehalt des Holzes, aber auch durch den unterschiedlichen Investitionsbedarf, zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung für beide Bestandeskollektive eine Reihung der Baumarten nach sinkender finanzieller Attraktivität von Fichte, Buche, Kiefer und Eiche. So profitiert besonders die Buche von den alternativen Preiskonzepten.

Es ist jedoch zu erwarten, dass sich für eine solche Preisentwicklung auch die Aushaltungsgewohnheiten verändern. Aufgrund der deutlich größeren Aufarbeitungszöpfe ist hier besonders beim Laubholz noch zusätzliches Potenzial vorhanden. Würden diese auf die für Nadelholz verwendete Derbholtzgrenze abgesenkt, ergeben sich z.B. in den konventionell erzeugten Buchen- und Eichenbeständen über eine Umtriebszeit 39 bzw. 66 Efm/ha zusätzlich nutzbares Schwachholz. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass Pappelanpflanzungen auf geeigneten Standorten fast doppelt so viel Energie binden könnten wie unsere Hauptbaumarten. Somit wäre unter diesem Preisszenario auch eine deutliche Verschiebung der Baumartenanteile hin zur in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigten Pappel und weg von den betrachteten Hauptbaumarten zu erwarten.

6.2.5.2 Unsicherheit der Risikoentwicklung

Die Auswirkung eines erhöhten Kalamitätsrisikos auf Portfolios aus Fichte und Buche haben auch KNOKE (2004) und KNOKE et al. (2005) untersucht. Allerdings wurde in diesen Studien nur die Gefahr von Kalamitäten bei Fichte erhöht, während sie im Gegensatz zur vorliegenden Studie bei Buche konstant gehalten wurde. KÖLLING et al. (2005) gehen jedoch davon aus, dass Trockenjahre, Sturmereignisse und die Temperaturerhöhung nicht spurlos an der Buche vorbei gehen werden.

Darüber hinaus waren die verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten der Fichte im Ausgangsszenario der beiden oben genannten Studien (KNOKE, 2004; KNOKE et al., 2005) stets höher als in der vorliegenden Arbeit (ca. 0,9 bzw. 0,75 gegenüber 0,69, jeweils im Alter 100). Gleichzeitig stellt HÖLLERL (2009) fest, dass mit den in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Überlebenswahrscheinlichkeiten der ZE-Anfall der Fichte (1990-2003) in den bayrischen Alpen überschätzt wird. Im Szenario mit hohem Ausfallrisiko sinken die Überlebenswahrscheinlichkeiten in den Studien von KNOKE auf etwa 0,53 im Alter 100 ab, während die Fichtenbestände in der vorliegenden Studie lediglich noch eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 0,41 aufweisen.

Als Folge des gesteigerten Naturalrisikos zeigen sich bei KNOKE (2004) und KNOKE et al. (2005) Reduktionen des vorteilhaften Fichtenanteils zugunsten der Buche. Dagegen kam es bei den vergleichbaren konventionell erzeugten Beständen in dieser Untersuchung nur zu

einer Verschiebung innerhalb der Fichtenbestände. Zudem wurde in zwei Fällen auch die Kiefer, aber kein Laubholz an den vorteilhaften Mischungen beteiligt. Trotz des überproportional gesteigerten Kalamitätsrisikos, dominiert die Fichte unter den gewählten Rahmenbedingungen weiterhin die vorteilhaften Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen, zeigt sie doch als einziger Baumart positive Annuitäten. In Untersuchungen zum finanziell vorteilhaften Vorgehen unter den Bedingungen des Klimawandels und Beibehaltung konventioneller Waldbaustrategien, stellten daneben LEXER et al. (2006) sowie LEXER und SEIDL (2007) fest, dass trotz stark ansteigender Borkenkäferschäden, reine Fichtenkonzepte einem Mischwaldkonzept mit Buche und Eiche überlegen sind.

Allerdings ist davon auszugehen, dass entsprechende Klimaänderungen nicht nur die Risikoexposition verändern, sondern auch das Wachstum der Bestände beeinflussen werden. Hier von werden, wie auch beim Aspekt des Risikos, die einzelnen Baumarten unterschiedlich stark beeinträchtigt (z.B. PRETZSCH, 1999; LEXER und SEIDL, 2007). Der Einfluss auf das Wachstum wurde hier, wie auch in den Studien von KNOKE (2004) und KNOKE et al. (2005) nicht berücksichtigt. Es wäre wünschenswert diesen Aspekt in zukünftige Studien mit zu integrieren, um damit die daraus resultierenden finanziellen Effekte berücksichtigen zu können. Momentan fehlen hierzu allerdings noch quantitative Auswertungen zu den einzelnen Baumarten, wie sie von PRETZSCH und DURSKY (2002) für Fichte durchgeführt wurden.

Insgesamt zeigt sich, dass die Annahmen des Szenarios mit erhöhten Kalamitätsgefahren durchaus plausibel sind und die in bisherigen Studien ermittelten qualitativen Unterschiede der Baumarten (vgl. Kapitel 4.3.3.3.2) recht treffend abbilden. Abschließend sei noch einmal betont, dass die quantitative Steigerung der Ausfallwahrscheinlichkeiten keine Prognose für die Zeiten des Klimawandels ist, sondern lediglich dazu dienen soll, die Auswirkungen steigender Kalamitätsgefahren auf finanziell optimierte Portfolios darzustellen.

6.3 Methoden

Nachdem methodische Aspekte in der vorliegenden Studie eine bedeutende Rolle einnehmen, werden diese im folgenden Kapitel ausführlich diskutiert. Zunächst wird dabei auf die Holzpreissimulation eingegangen. Anschließend werden die Monte-Carlo-Simulation und insbesondere die verschiedenen verwendeten Risikomaße erläutert.

6.3.1 Simulation schwankender Holzpreise

Zunächst wird die Preissimulation über Bootstrapping, durchgeführt bei den Preismodellen „Historisch“ und „Brennholz“, diskutiert. Sehr positiv und bedeutend für die Portfoliobetrachtungen ist, dass die Korrelationen der Preisstatistik durch dieses Vorgehen erhalten blieben. Eine wichtige Voraussetzung für den Bootstrap-Ansatz ist allerdings, dass die Preise unabhängig über die Zeit sind, erfolgt die Ziehung doch zufällig und unabhängig vom zuvor gezogenen (Holz)Preis (DOWD, 1998; JORION, 2001). Da es beim Wertholz nur einen Erntezeitpunkt gibt, besteht für dieses Sortiment diesbezüglich kein Problem. Das gleiche gilt im Wesentlichen auch für die „optimierten“ Bestände zur Wert- und Industrieholzproduktion, da zumeist nur eine Holzernte stattfindet. Somit müssen in diesen Fällen keine Zeittrends bzw.

Autokorrelationen berücksichtigt werden. Ansonsten erfolgten die Ziehungen für Zeitpunkte von mindestens 5 Jahren Abstand.

Zur Kontrolle, ob diese Voraussetzung erfüllt ist, wurden die Korrelationen der Preise von Zeitpunkten mit 5 Jahren Abstand ermittelt. Die Sägeholzpreise von Kiefer und Fichte sind hierbei annähernd unkorreliert ($k = -0,02$) und stellen somit kein Problem dar (vgl. BEINHOFER, 2008a,b). Auch das Eichensägeholz und das Kiefernindustrieholz sind nur schwach korreliert ($k = 0,1$), das restliche Industrieholz nur mäßig ($k = 0,2$ bis $0,3$). Einzig das Buchensägeholz ist mit $k = 0,8$ stark positiv korreliert. Auch ein 10-jähriger Abstand zwischen den Eingriffen bzw. Holzpreisjahrgängen verändert dies nicht sehr stark. Für die Eichenbestände verschlechtert sich die Eignung des Bootstrap-Ansatzes bei 10-jährigen Intervallen, da sich die Korrelation des Sägeholzes etwas vergrößert ($k = -0,3$), während auch beim Laubindustrieholz die Korrelation steigt ($k = -0,8$).

Somit ist die für den Bootstrap-Ansatz nötige Voraussetzung der Unabhängigkeit über die Zeit für die Nadelholzbestände relativ gut erfüllt. Bei der Eiche ist nach diesem Kriterium nur das Industrieholz problematisch, das aber wegen der geringen Wertschöpfung nur wenig an den Erlösen bzw. den Annuitäten beteiligt ist. Lediglich die Preissimulation für den konventionell erzogenen Buchenbestand und den Buchensägeholzbestand ist aufgrund der hohen Abhängigkeiten der Preise über die Zeit eher kritisch. Es muss somit festgestellt werden, dass diese wichtige Voraussetzung für den Einsatz des Bootstrapping nicht immer erfüllt ist.

Allerdings beschränken sich die Probleme im Wesentlichen auf eine von vier Baumarten. Viel wichtiger erschien für diese Untersuchung, mit der tatsächlichen Verteilung der Holzpreise zu kalkulieren, um nicht auf die häufig kritisierte Normalverteilung (z.B. MANDELBROT und HUDSON, 2005) zurückgreifen zu müssen. Daneben wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, dass die Korrelationen der verschiedenen Holzpreise erhalten bleiben, die für Portfolio-betrachtungen eine entscheidende Eingangsgröße darstellen. Diese beiden Anforderungen wurden mit dem Bootstrap-Ansatz am besten erfüllt, so dass die Vernachlässigung einer gewissen Preisabhängigkeit über die Zeit in Kauf genommen wurde.

Daneben ist auch die Verwendung der Normalverteilung im Preismodell „Energie“ diskussionswürdig. Allerdings ist bei den Annahmen dieses Preismodells keine bisherige Preisverteilung bekannt, was zur gängigen Vereinfachung führte, eine Normalverteilung für die Preise zu unterstellen (z.B. DOWD, 1998; MEYER, 1999; MANDELBROT und HUDSON, 2005).

6.3.2 Übertragung der Holzpreisschwankungen über den Preisquotienten

Ein besonderes Augenmerk sei hier noch auf die Art der Übertragung von Holzpreisschwankungen auf die Einnahmen aus dem Holzverkauf gelegt. Werden Holzanfälle direkt mit simulierten Preisen bewertet, wie in der vorliegenden Studie beim Wert- und Industrieholz, ist dies relativ problemlos. Komplizierter wird dies hingegen wenn die Schwankungsintegration über einen Preisquotienten erfolgt, wie hier beim Sägeholz. Dieser Quotient besteht im Zähler aus dem simulierten Holzpreis und im Nenner aus einem Referenzpreis.

Zunächst ist festzuhalten, dass bei diesem Vorgehen unterstellt wird, dass die Erlösverhältnisse zwischen den einzelnen Stärkeklassen konstant bleiben und sich auch die Qualitätsanteile nicht verändern. Dies wurde in der vorliegenden Studie wie auch in anderen forstökonomi-

schen Untersuchungen (z.B. KNOKE und WURM, 2006; BEINHOFER, 2008a,b) akzeptiert, um so den Simulationsaufwand zu reduzieren. Es bleibt jedoch zu diskutieren, welcher Preis als Referenzpreis im Nenner des Preisquotienten verwendet werden kann. Dabei bieten sich zwei Alternativen an. Zum einen wird wie in der vorliegenden Studie der aktuelle, zum Bewertungszeitpunkt erzielte Preis des Referenzsortiments verwendet, zum anderen der mittlere Holzpreis des Referenzsortiments der Vergangenheit (z.B. KNOKE et al., 2005; KNOKE und WURM, 2006).

Unabhängig vom gewählten Referenzpreis bleiben allerdings die Verteilung des Preisquotienten und der Einnahmen sowie der Variationskoeffizient konstant. Zudem entspricht der Variationskoeffizient dem der Holzpreise. Somit ergeben sich nach diesen beiden wichtigen Kriterien keine Unterschiede zwischen den zwei Möglichkeiten. Allerdings sind für die gleichen simulierten Preise die Mittelwerte und Standardabweichungen des Preisquotienten unterschiedlich. Folglich hat der gewählte Referenzpreis deutlichen Einfluss auf die Höhe der Einnahmen, da die ermittelten Durchforstungs- und Endnutzungserlöse mit dem absoluten Wert des Preisquotienten multipliziert werden, um die Holzpreisschwankungen zu übertragen. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse umso mehr, je weiter der Holzpreis des Referenzsortiments zum Bewertungszeitpunkt vom mittleren Holzpreis der Vergangenheit abweicht. Auch die Standardabweichung der Einnahmen wird vom Referenzpreis beeinflusst und verringert sich, je größer der Referenzpreis ist. Dies ist kritisch zu beurteilen, da die Standardabweichung als Risikomaß Verwendung findet.

Steht im Nenner des Preisquotienten der mittlere Holzpreis der Vergangenheit, unterstellt man damit, dass die mit den aktuellen Preisen kalkulierten Einnahmen mit dem durchschnittlichen Holzpreis erzielt werden. Dies ergibt sich daraus, dass für einen simulierten Preis in Höhe des mittleren Holzpreises der Quotient den Wert 1 annimmt. Nachdem die Holzpreise zum Bewertungszeitpunkt aber je nach Baumart mehr oder weniger stark positiv oder negativ vom Mittelwert abweichen, hat diese Holzmarktkonstellation starken Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit einer Baumart. Durch die Quotientenbildung mit dem mittleren Holzpreis im Nenner werden die Zahlungen zusätzlich noch weiter in die Richtung verschoben, in der sie vom mittleren Holzpreis aus gesehen ohnehin schon sind. Folglich hat der Preis zum Bewertungszeitpunkt und nicht das langjährige Verhältnis der Preise bzw. ihre Höhe entscheidenden Einfluss auf die finanzielle Attraktivität und damit auch auf die Portfolioanteile einzelner Baumarten. Die Unterschiede gegenüber der Normierung auf den Preis zum Bewertungszeitpunkt sollen an folgendem Beispiel erklärt werden.

Der Preis zum Bewertungszeitpunkt, wird unterstellt, liegt bei 120 €/fm und damit über dem mittleren Preis von 100 €/fm. Wird ein Holzpreis in Höhe von 120 €/fm simuliert und auf den mittleren Preis normiert, ergibt sich ein Quotient von 1,2 und die ermittelten Einnahmen werden so um 20 % vergrößert. Wird hingegen ein Preis in Höhe des mittleren Preises simuliert, ergibt sich ein Quotient von 1,0, so dass die mit dem höheren Preisniveau ermittelten Einnahmen erhalten bleiben. Bei einem um 20 €/fm unterdurchschnittlichen Preis, würden die Einnahmen um 20 % nach unten korrigiert, wenngleich der Holzpreis zum Bewertungszeitpunkt viel höher war. Auf diese Weise bleibt das aktuell 20 % über dem Mittelwert liegende Niveau durchgängig erhalten. Würde der Preis des Referenzsortiments zum Bewertungszeitpunkt hingegen nur 80 €/fm betragen, würde das Niveau durchgängig um 20 % unter dem für

den Mittelwert zu erwartenden Niveau liegen. Somit bleibt das aktuelle Preisniveau im Verhältnis zum Durchschnittspreis erhalten.

Erhält der Quotient im Nenner hingegen den Preis zum Bewertungszeitpunkt, werden die Einnahmen bei einem simulierten Preis in aktueller Höhe (vgl. oben: 120 €/fm/120 €/fm) mit 1 multipliziert und bleiben in der Höhe unverändert. Gleichzeitig werden die Einnahmen entsprechend den Preisverhältnissen reduziert, wenn ein Preis in mittlerer Höhe simuliert wird. Analog werden auch Zahlungen bei aktuell unterdurchschnittlichen Preisen erhöht. Damit erfolgt eine Berücksichtigung der aktuellen Preishöhe im Vergleich zum langjährigen Mittel und man erhält durch diese Korrektur für einen mittleren Preis entsprechend Einnahmen in mittlerer Höhe.

Über die Wahl des Referenzpreises im Preisquotienten wird somit entschieden, ob für einen die aktuellen Holzmarktbedingungen (Referenzpreis gleich dem mittleren Holzpreis des Betrachtungszeitraums) oder das langjährige Verhältnis der Holzpreise der beteiligten Baumarten (Referenzpreis gleich dem Holzpreis zum Bewertungszeitpunkt) für Prognosen geeigneter erscheinen. Folglich ergeben sich auch in den Ergebnissen deutliche Unterschiede, je nach gewähltem Referenzpreis. Während in der vorliegenden Studie Buche keine Rolle in den optimalen Portfolios spielt, weisen z.B. KNOKE und WURM (2006) größere Buchenanteile als vorteilhaft aus. Eine mögliche Ursache für diese Unterschiede könnte im gewählten Nenner des Preisquotienten liegen.

Die von KNOKE und WURM (2006) verwendeten Nettoerlöse für Buche basieren auf Ergebnissen von Holzpreisanalysen für Buchenstämme im Winter 1999/2000 und 2000/2001 (KNOKE, 2003). Dies sind allerdings Jahre in denen die Buchensägeholzpreise ein Allzeithoch erreichten (z.B. StMELF, 2004) und 20 €/fm höher lagen als das langjährige Mittel. Die Erlöse der Fichte stammen hingegen aus einer unveröffentlichten Studie von FELBERMEIER (KNOKE, 2004), in der zur Bewertung im Vergleich zum Durchschnittspreis von KNOKE und WURM (2006) oder auch KNOKE et al. (2005; Marktmodell 2) unterdurchschnittliche Fichtenpreise verwendet wurden (FELBERMEIER, 2008). Der von KNOKE und WURM (2006) verwendete Preisquotient enthielt im Nenner den mittleren Preis der Periode 1980 bis 2001. Durch diese Quotientenbildung wurden gegenüber dem in der vorliegenden Studie gewählten Ansatz alle Einnahmen aus der Buche um 24 % höher und gleichzeitig die Einnahmen aus der Fichte um 17 % niedriger eingeschätzt. Somit ergab sich nur durch den gewählten Nenner des Quotienten eine Verschiebung um 40 % zugunsten der Buche.

Denkbar wäre als Alternative, um das geschilderte Problem zu umgehen, die Volumina aller Sägeholzsortimente, wie z.B. das Wertholz, direkt mit den historischen Preisen zu bewerten. Dies wäre allerdings wegen zu berücksichtigender Qualitäts- und Stärkeklassenunterschiede extrem aufwendig. Es könnte jedoch aus den historischen Preisen einer jeden Stärkeklasse, jeweils für B-, C- und D-Holz, ein Durchschnittspreis ermittelt werden. Mit diesen Durchschnittspreisen könnten dann die anfallenden Holzmengen bewertet werden und die Übertragung von Holzpreisschwankungen über einen Preisquotienten erfolgen, wobei über den Einsatz des Durchschnittspreises im Nenner nicht zu diskutieren wäre. Das gleiche gilt für die Möglichkeit, aus der heutigen Holzmarktsituation nur die Relationen z.B. der Preise verschiedener Stärkeklassen gegenüber dem Referenzsortiment abzuleiten. Wendet man diese Relation dann auf den mittleren historischen Holzpreis an, kann man daraus die Preise der anderen

z.B. Stärkeklassen ableiten und damit die Einnahmen aus den Holzernten ermitteln. Es existieren folglich Möglichkeiten, die Diskussion um den im Nenner des Preisquotienten eingesetzten Holzpreis zu umgehen.

6.3.3 Die Monte-Carlo-Simulation

Abschließend wird noch auf die durchgeführte Monte-Carlo-Simulation als Datengenerierungsprozess eingegangen. Die Monte-Carlo-Simulation stellt die leistungsfähigste, umfassendste und potentiell genaueste Methode zur Risikoquantifizierung dar. Der grundlegende Vorteil liegt in der Freiheit und Flexibilität, sowohl bei der Modellierung, als auch der Datenauswahl, so dass alle relevanten Risiken berücksichtigt werden können (MEYER, 1999; JORION, 2001; CHOUDHRY, 2006). Im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation können auch Preise, die von mehr als einer stochastischen Variable abhängen, pfadabhängige Preise, zeitliche Veränderungen in der Streuung und Korrelation von Preisen, nicht normalverteilte Preise mit „Fat Tails“ und Schiefe, tatsächliche Preisverteilungen sowie extreme Szenarien berücksichtigt werden (DOWD, 1998; MEYER, 1999; JORION, 2001; CHOUDHRY, 2006). Eine große Anzahl von zufallsbeeinflussten Simulationsdurchläufen liefert eine Approximation der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ergebnisse, woraus verschiedenste Kennzahlen abgeleitet werden können. Sie ist auch gut für lange Zeiträume geeignet, beispielsweise beim Kreditrisiko (JORION, 2001; CHOUDHRY, 2006) oder im vorliegenden Fall bei Waldbeständen.

Allerdings ist der Preis für eine exakte Risikoquantifizierung hoch. So sind erhebliche Vorarbeiten, Rechenkapazitäten, lange Rechenzeiten und das Know-how von Experten erforderlich, womit sie in der Umsetzung sehr teuer ist (MEYER, 1999; JORION, 2001; CHOUDHRY, 2006). Daneben gibt es das Problem des Modellrisikos, denn diese komplexen Modelle müssen korrekt sein. Die Prognosegüte einer Monte-Carlo-Simulation hängt somit im Einzelfall von der Realitätsnähe der verwendeten stochastischen Prozesse, Wahrscheinlichkeitsverteilungen und der korrekten Berücksichtigung des Zusammenwirkens der Risikofaktoren ab. Diese Methode erreicht ihre Grenze, wenn es nicht mehr möglich ist, die Vielzahl an Abhängigkeiten der Eingangsgrößen zu ermitteln und korrekt zu berücksichtigen. Hinzu kommt das Problem der Stichprobenvariation. So stellt jedes Ergebnis eine Näherung dar, die mit steigender Anzahl an Wiederholungen besser bzw. realitätsnäher wird (MEYER, 1999; JORION, 2001). Um auszuschließen, dass im hiesigen Simulationsmodell ein Fehler besteht, wurden die Ergebnisse mit denen anderer Studien mit der gleichen Datengrundlage verglichen (z.B. BEINHOFER, 2008b,c; 2009a,b). Diese Vergleiche zeigten, dass keine Fehler im Modell vorliegen.

Bei Monte-Carlo-Simulationen ergeben sich somit besonders Zielkonflikte zwischen Rechengenauigkeit und -geschwindigkeit, sowie zwischen Rechengenauigkeit und Kosten. Allerdings können die Effekte von komplexen Risiken, z.B. bei unterschiedlichen Risikofaktoren wie in der vorliegenden Studie dem kalamitätsbedingten Bestandesausfall und den Holzpreisschwankungen, nur so adäquat quantifiziert werden. Somit erscheint die Monte-Carlo-Simulation für die behandelte Fragestellung der zweckmäßigste Ansatz.

6.3.4 Diskussion der verschiedenen Risikomaße

6.3.4.1 Klassische Risikomaße

Der klassische „Mean-Variance-Ansatz“ von MARKOWITZ (1952) ist der erste systematische Ansatz, um das Dilemma aller Investoren zwischen dem Streben nach hohem Gewinn und dem Wunsch nach geringem Risiko zu behandeln (STEINBACH, 2001). Die darin als Risikomaß verwendete Standardabweichung bzw. die Varianz der Portfolioerträge ist das vorherrschende Risikomaß in der Finanzwelt (z.B. UNSER, 2000; BERTSIMAS et al., 2004).

Die grundlegende Prämisse von finanziellen Optimierungen ist, dass Investoren rational und risikoavers sind und größere Erträge gegenüber geringeren vorziehen (GOTOH und KONNO, 2000). Somit wird normalerweise unterstellt, dass jeder Investor eine Nutzenfunktion hat, deren erste Ableitung größer oder gleich Null ist ($u' \geq 0$), während die zweite Ableitung kleiner oder gleich Null ist ($u'' \leq 0$) (GOTOH und KONNO, 2000). Daneben wird vorausgesetzt, dass jeder Investor so handelt, dass er den Wert seiner Nutzenfunktion maximiert (GOTOH und KONNO, 2000). Der „Mean-Variance-Ansatz“ von MARKOWITZ (1952) stimmt mit diesen Grundlagen allerdings nur überein, wenn entweder die Erträge normalverteilt sind oder wenn eine quadratische Nutzenfunktion verwendet wird (EFTEKHARI, 1998; GOTOH und KONNO, 2000; MAURER und REINER, 2002; BERTSIMAS et al., 2004).

Die Normalverteilung wird zwar häufig unterstellt, jedoch zeigen empirische Untersuchungen, dass sie nicht immer zutreffend ist (z.B. GOTOH und KONNO, 2000; MAURER und REINER, 2002; BERTSIMAS et al., 2004; MANDELBROT und HUDSON, 2005). Für asymmetrische Verteilungen wiederum ist die Standardabweichung ungeeignet, da sie sowohl erwünschte über- als auch unerwünschte unterdurchschnittliche Abweichungen gleichermaßen bestraft (BERTSIMAS et al., 2004; LEITNER, 2008). So zeigte CHAMBERLAIN (1983), dass nur für elliptische und symmetrische Verteilungen der Nutzen eines Investors eine Funktion von Mittelwert und Standardabweichung des Portfolios ist (BERTSIMAS et al., 2004). Die quadratische Nutzenfunktion weist zudem unerwünschte Eigenschaften auf (GOTOH und KONNO, 2000). Zum einen unterstellt sie eine Sättigung des Investors, so dass ab einem bestimmten Punkt der weitere Anstieg des Reichtums den Nutzen verringert (BERTSIMAS et al., 2004). Zum anderen enthält sie einen Anstieg der absoluten Risikoaversion, aufgrund einer konstanten zweiten Ableitung und eine zunehmende relative Risikoaversion, so dass die Nachfrage nach risikobehafteten Anlagen mit ansteigendem Reichtum abnimmt. Aus diesem Grund wird sie in der Literatur oftmals als unrealistisch abgelehnt (ELTON und GRUBER, 1991; UNSER, 2000; MAURER und REINER, 2002; BERTSIMAS et al., 2004; BROGAN und STIDHAM, 2005).

Allerdings ist die von MARKOWITZ verwendete Standardabweichung bzw. Varianz ein praktisches, gewohntes und vor allem leicht zu berechnendes Risikomaß (HOMAIFAR und GRADY, 1990; TASCHÉ, 2000). So wurde die Varianz als Risikomaß auch nicht wegen theoretischer oder empirischer Rechtfertigung gewählt, sondern aus Bequemlichkeit und der einfachen Berechenbarkeit wegen (UNSER, 2000). Besonders hervorzuheben ist auch die so einfache Kalkulation des Risikos eines Portfolios aus dem Risiko der Bestandteile.

Der Grund für die vielfältige Kritik an der Verwendung der Standardabweichung ist deren symmetrische Natur, so dass Abweichungen in beide Richtungen vom Mittelwert als Risiko

eingehen, was der Auffassung von Risiko als etwas negativem nicht entspricht (z.B. HOMAIFAR und GRADY, 1990; UNSER, 2000; TASCHE, 2000). Das im klassischen Modell verwendete zweiseitige Risikoverständnis stimmt auch nach empirischen Untersuchungen des Anlegerverhaltens nicht mit dem tatsächlichen Risikoempfinden überein (UNSER, 2000; PODDIG et al., 2005). Dagegen erscheinen die LPMs intuitiv passendere Risikomaße zu sein (UNSER, 2000). Empirische und simulationsgestützte Untersuchungen zeigen zudem die Überlegenheit einer solchen Portfoliowahl gegenüber dem klassischen Ansatz, wenn man einen verlustrisikoorientierten Investor betrachtet (UNSER, 2000). Sind Investoren allerdings über die Streuung besorgt und wollen diese reduzieren, ist nach wie vor der klassische Ansatz empfehlenswert (EFTEKHARI, 1998).

Zusammengefasst gibt es erhebliche Kritik an und grundlegende Probleme bei der Anwendung der klassischen Portfoliotheorie mit der Standardabweichung bzw. der Varianz als Risikomaß. Zum einen wirkt sich dies negativ auf die Anwendbarkeit des parametrisch ermittelten, standardabweichungsbasierten VaR aus. Zum anderen beeinflusst es die Möglichkeit der Nutzenoptimierung über das Sicherheitsäquivalent, bei der die Standardabweichung bzw. die Varianz als Risikomaß eingeht. Daneben ist zu beobachten, dass aufgrund der hohen Anlagebeträge in dieser Studie die Risikoabschläge relativ begrenzt sind. Zudem sind die tatsächlichen Anlagebeträge in den verschiedenen Beständen sehr unterschiedlich, so dass für teilweise sehr große Anteile des in der Kalkulation berücksichtigten Anlagebetrages unterstellt werden musste, dass sie risikofrei zum Kalkulationszinssatz angelegt werden (vgl. KNOKE et al., 2005). Der Vorteil des Sicherheitsäquivalents gegenüber anderen in dieser Studie verwendeten Risikomaßen ist allerdings, dass es Risiko und Annuität gemeinsam betrachtet.

6.3.4.2 Downside-Risikomaße

Trotz der geringeren Verbreitung blieb das Interesse an Downside-Risikomaßen stets erhalten, was sich beispielsweise am Beitrag von MARKOWITZ (1959) zur Verwendung der Semi-varianz oder dem „Safety First“-Ansatz von ROY (1952) zeigt (DANIELSSON et al., 2008). Eine zunehmende Beachtung der Downside-Risikomaße ergab sich durch die Aufnahme des VaR in die „Basler Abkommen“¹⁸ und der großen Aufmerksamkeit für diese Risikomaße in der Finanzpsychologie (JARROW und ZHAO, 2006; DANIELSSON et al., 2008). Eine Vielzahl entsprechender Studien über Entscheidungen unter Risiko legen nahe, dass die Wahrnehmung von Risiko komplexer ist als die Varianz (POST und VAN VLIET, 2006) und Investoren als downside-risikoavers einzustufen sind (JARROW und ZHAO, 2006). Daraus folgt die Forderung den „Mean-Variance-Ansatz“ z.B. durch einen generelleren Ansatz mit der Verlustwahrscheinlichkeit oder der Downside-Varianz zu ersetzen (POST und VAN VLIET, 2006).

Als wichtige Vorteile der einseitigen Downside-Risikomaße werden unter anderem genannt, dass sie zwischen dem Risiko unterdurchschnittlicher Ergebnisse und der Chance überdurchschnittlicher Ergebnisse unterscheiden (LEE und RAO, 1988; MAZZOLENI, 2004) und damit das subjektive Risikoempfinden von Entscheidungsträgern berücksichtigen (LEE und RAO, 1988; HARLOW und RAO, 1989; UNSER, 2000; MAZZOLENI, 2004; BROGAN und STIDHAM, 2005). Zudem sind diese Ansätze stimmig mit dem Nutzenansatz, aber nicht mehr von der Normal-

¹⁸ Vom Basler Ausschuss für Bankenaufsicht vorgeschlagene Eigenkapitalvorschriften für Kreditinstitute.

verteilungsannahme oder der Unterstellung quadratischer Nutzenfunktionen abhängig (EFTEKHARI, 1998; MAZZOLENI, 2004). Somit liefern die Downside-Risikomaße eine viel allgemeinere Alternative zum klassischen „Mean-Variance-Ansatz“ (BAWA, 1975; 1978; HARLOW und RAO, 1989; EFTEKHARI, 1998). Die LPMs haben gleichzeitig den Vorzug, dass sie neben einer theoretischen Stichhaltigkeit die meisten anderen Risikomaße als Spezialfälle enthalten, wie beispielsweise den „Mean-Variance-Ansatz“ (UNSER, 2000).

Da Anleger unter Risiko die Gefahr eines Verlusts verstehen, haben sie ein einseitiges Risikoverständnis unter Bezugnahme auf ein bestimmtes Zielniveau. Zur Operationalisierung dieser Tatsache werden die LPMs verwendet (PODDIG et al., 2005). Ein Problem dieses Ansatzes ist allerdings, dass die Ergebnisse von der Höhe des gewählten Zielwertes abhängen (ALBRECHT, 2001) und gleichzeitig verschiedene Investoren unterschiedliche Erwartungen und damit abweichende Targets haben (LEE und RAO, 1988). Je höher das Target festgesetzt wird, desto höher ist auch der Erwartungswert des risikominimalen Portfolios, während das Downside-Risiko ansteigt (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Für ein festes Target sind die LPMs umso kleiner, je höher der Erwartungswert des Portfolios ist. Umgekehrt steigen die LPMs mit sinkendem Erwartungswert des Portfolios (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Dies war auch in der vorliegenden Studie zu beobachten, allerdings mit Einschränkungen bei den höchsten Annuitäten. Der Zielwert bzw. das Target, das in den LPM-Ansätzen verwendet wird, kann auch als gewünschtes oder kritisches Ziel des „Safety First“-Ansatzes interpretiert werden (LEE und RAO, 1988). UNSER (2000) ermittelte, dass der Zielwert dem Einkaufspreis entspricht, um für Einzelpersonen Verlust zu definieren.

Trotz der subjektiv eingängigen Risikomessung sind die Downside-Risikomaße bei der Portfoliowahl nicht weit verbreitet (BERTSIMAS et al., 2004), was vermutlich vor allem am hohen Rechenaufwand liegt (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; BERTSIMAS et al., 2004). So kann das Downside-Risiko der Bestandteile nicht wie bei der Varianz zu einem Portfoliorisiko verrechnet werden. Stattdessen muss die gesamte Werteverteilung der möglichen Portfoliobestandteile in der Optimierung bekannt sein und genutzt werden (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; PODDIG et al., 2005). Die Beliebtheit dieser Risikomaße steigt dennoch an (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999).

Auch JARROW und ZHAO (2006) empfehlen die Verwendung der LPMs als geeignetes Risikomaß für Verlustaversion. Sie stellen jedoch fest, dass die Unterschiede in der Zusammensetzung der optimalen Portfolios gegenüber dem klassischen Ansatz umso geringer sind, je mehr die Ertragsverteilung einer Normalverteilung entspricht (JARROW und ZHAO, 2006). Grundsätzliche Kritik an den Downside-Risikomodellen gibt es wegen der Vernachlässigung der Upside-Chancen (MEYER, 1999), nachdem der wichtige Faktor der erwarteten Erträge nicht berücksichtigt wird (JORION, 2001).

6.3.4.2.1 *Value at Risk*

Der VaR-Ansatz kann für alle Ertragsverteilungen angewendet werden und liefert eine gemeinsame, konsistente Risikomeßzahl für alle riskanten Portfoliobestandteile. Zudem berücksichtigt der VaR Korrelationen und Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Einzelanlagen, was besonders für Portfoliorisiken bedeutsam ist. Auch können alle Einzelrisiken zu einer

Risikokennziffer für das gesamte Unternehmen oder Portfolio zusammengefasst werden (DOWD, 1998; MEYER, 1999; GOURIEROUX et al., 2000).

Es können weiterhin mit dem VaR Risikoziele gesetzt, der Kapitalbedarf für Rücklagen ermittelt und Berichtspflichten erfüllt werden (DOWD, 1998). Zudem ist der VaR ein intuitiv verständliches Risikomaß, bei dem das Risiko auch für Nichtfachleute leicht nachvollziehbar durch einen bestimmten Geldbetrag dargestellt wird (MEYER, 1999; RAU-BREDOW, 2001). So wurde der VaR in den letzten Jahren intensiv in der Finanzwelt verwendet (BERTSIMAS et al., 2004). Durch die Angabe eines Vertrauensbereichs um den VaR könnte aber verdeutlicht werden, dass dieser selbst nur eine stochastische Größe ist, die z.T. mit erheblichen Schätzfehlern belastet ist (MEYER, 1999). Auch eine Ergänzung mit dem Expected Shortfall könnte hilfreich sein, um eine Aussage zur Höhe der Verluste in den Fällen zu erhalten, in denen der Schwellenwert des VaR unterschritten wird (DOWD, 1998).

CAMPELL et al. (2001) verwenden den VaR, um das „Safety First“-Kriterium nach ROY (1952) darstellen zu können und JANSEN et al. (2000) stellten fest, dass der „Safety First“-Investor nach ROY den VaR verwendet. Allerdings wird beim Kriterium nach ROY die Wahrscheinlichkeit unter ein bestimmtes Zielniveau abzufallen, minimiert (PODDIG et al., 2005). Der ebenfalls zu den „Safety First“-Kriterien gehörende Ansatz von KATAOKA entspricht vielmehr der Optimierung nach dem VaR (PODDIG et al., 2005). Bei diesem Ansatz wird das Portfolio mit dem höchsten Target (z.B. höchste Zielrendite) bestimmt, wobei die Wahrscheinlichkeit einer Zielunterschreitung nur eine bestimmte Höhe erreichen darf (PODDIG et al., 2005). Daneben besteht eine Ähnlichkeit zur Maxmin-Regel, nach der die Alternative mit dem im Vergleich besten Minimalergebnis ausgewählt wird (BRADTKE, 2003), wengleich der VaR nicht den absolut schlechtesten Fall („Worst-Case“) betrachtet.

Die Vorteilhaftigkeit von Alternativen nach dem VaR ist nicht unabhängig vom gewählten Konfidenzniveau. Das vorgegebene Konfidenzniveau hat zudem bedeutende Konsequenzen für die Verlässlichkeit des ermittelten VaR. Bei sehr hohen Konfidenzniveaus werden nur wenige Überschreitungen des VaR toleriert, wobei extreme Wertänderungen sehr selten auftreten und so bei Simulationen viele Durchgänge notwendig sind, um statistisch tragbare Aussagen über das entsprechende Quantil treffen zu können (MEYER, 1999). Untersuchungen zeigen, dass die Prognosegüte bei geringeren Konfidenzniveaus oftmals besser ist. So wurde festgestellt, dass bei einem Konfidenzniveau von 95 % die tatsächliche Anzahl an Überschreitungen eher im geschätzten Rahmen bleibt, als für ein Konfidenzniveau von 99 % (MEYER, 1999). Aus diesem Grund wurde hier auch ein 95 %iges Konfidenzniveau gewählt.

Ein großer Kritikpunkt am VaR ist, dass er keine Information über die Höhe des Verlusts in den Fällen liefert, in denen der VaR überschritten wird (SRIVASTAVA, 1999; BERTSIMAS et al., 2004). So hat dieses Risikomaß alleine keinen höheren Informationsgehalt als die LPM_0 (MEYER, 1999). Für den VaR spielt es keine Rolle, ob die Verluste knapp unter dem Schwellenwert liegen oder viel höher ausfallen, für die Risikoeinschätzung hingegen schon. Diesem Problem kann z.B. durch die Berechnung des Expected Shortfalls begegnet werden (RAU-BREDOW, 2002b). Darüber hinaus wird kritisiert, dass der VaR nicht den „Worst-Case“ abbildet, der den VaR um ein vielfaches übersteigen könnte (MEYER, 1999) und viele VaR-Modelle nur unter „normalen Marktbedingungen“ gelten, was seltene und extreme Ereignisse ausschließt (MEYER, 1999; MEDOVA und KYRIACOU, 2002).

Mit dem VaR kann sich auch eine identische Risikoeinschätzung von völlig verschiedenen Renditeverteilungen ergeben, wenn das gewählte Quantil gerade mit dem Schnittpunkt der beiden Verteilungsfunktionen zusammenfällt. Diesem Problem kann begegnet werden, indem das α -Quantil für verschiedene Konfidenzniveaus betrachtet wird. Kommt man dabei zu unterschiedlichen Risikoeinschätzungen, sollten diese Alternativen nicht mit dem VaR verglichen werden (MEYER, 1999). Daneben verletzt der VaR eines der von ARTZNER et al. (1999) aufgestellten Kriterien für kohärente Risikomaße (vgl. Kapitel 6.3.4.2.2) und ermuntert nicht zu Diversifikation (ARTZNER et al., 1999; FISCHER, 2003; BERTSIMAS et al., 2004). In einem Vergleich zur Verwendung einer Risikonutzenfunktion erzielte BEINHOFER (2009b) allerdings mit dem VaR stärker diversifizierte Portfolios aus unterschiedlich behandelten Nadelholzbeständen. Dagegen zählen die in der vorliegenden Studie nach dem VaR vorteilhaften Portfolios aus „optimierten“ Beständen eher zu denen mit weniger Bestandteilen.

Eine Entscheidung auf Grundlage des VaR gewährleistet nicht notwendigerweise eine Maximierung des erwarteten Nutzens und ist somit zumindest für risikoaverse Investoren nicht immer rational (MEYER, 1999). So kann es sein, dass mit dem VaR die stochastische Dominanz zweiter Ordnung verletzt wird und damit nicht immer Risikoaversion im klassischen Sinn betrachtet wird (RAU-BREDOW, 2002b). Folglich kann die Portfoliooptimierung nach dem VaR-Kriterium problematisch sein und für risikoaverse Entscheider zu unerwünschten Ergebnissen führen. Die Verwendung des VaR kann so für Banken ein Anreiz zur höheren Risikoübernahme sein (MEYER, 1999). Insgesamt wird das Konzept des VaR dennoch als eine wichtige Weiterentwicklung im Bereich des Risikomanagements betrachtet (MEYER, 1999).

Gleichzeitig stehen mit dem Downside-Erwartungswert und der Downside-Varianz weitere Risikomaße zur Verfügung, die nach MEYER (1999) größere Beachtung in der Praxis finden sollten. Werden Simulationen durchgeführt, können LPMs höherer Ordnung ohne großen Mehraufwand ermittelt werden. Allerdings könnte in diesen Fällen auch die gesamte Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Hilfe der Stochastischen Dominanz betrachtet werden (MEYER, 1999).

6.3.4.2.2 Expected Shortfall

Im Gegensatz zum VaR wird mit den LPM_1 oder dem Expected Shortfall auch eine Aussage zur erwarteten Höhe des Verlusts getroffen (MEYER, 1999). Aus theoretischer Perspektive liefert der Expected Shortfall mehr Informationen und hat bessere mathematische Eigenschaften als der VaR (HENKING et al., 2006). In diesem Zusammenhang haben ARTZNER et al. (1999) vier wünschenswerte Eigenschaften für Risikomaße ermittelt. Eine Risikomeßzahl kann demnach als Funktion der Werteverteilung eines Portfolios gesehen werden, die in einer einzelnen Zahl zusammengefasst ist (JORION, 2001). Das erste Kriterium für eine Risikomeßzahl nach ARTZNER et al. (1999) ist die Monotonie. Anders formuliert muss ein Portfolio das immer geringere Erträge liefert als ein zweites ein größeres Risiko haben (JORION, 2001). Daneben sollte Translationsinvarianz vorliegen, also z.B. die Ergänzung eines Portfolios um die Bargeldmenge k das Risiko um k verringern. Das dritte Kriterium ist die Homogenität nach dem die Vergrößerung eines Portfolios um b das Risiko um den gleichen Faktor heraufsetzen sollte. Zuletzt muss Subadditivität gelten, wonach das Verschmelzen von zwei Portfolios das Risiko nicht erhöhen kann (ARTZNER et al., 1999; JORION, 2001). Risikomaße die

diese vier Eigenschaften erfüllen, werden als kohärente Risikomaße bezeichnet (ARTZNER et al., 1999; HENKING et al., 2006).

Nach ARTZNER et al., (1999) wird die letzte dieser Bedingungen vom VaR nicht erfüllt. JORION (2001) ist dagegen der Ansicht, dass das Kriterium „Subadditivität“ nur für einige konstruierte Extremfälle nicht zutrifft. Daneben kann gezeigt werden, dass der Expected Shortfall alle diese wünschenswerten Kohärenz-Eigenschaften erfüllt (JORION, 2001; HENKING et al., 2006). Geht man von normalverteilten Erträgen bzw. Renditen aus, erfüllt auch der standardabweichungsbasierte VaR alle vier Kriterien, nachdem schon MARKOWITZ gezeigt hatte, dass die Streuung eines Portfolios geringer ist als die Summe der Streuungen der Bestandteile (JORION, 2001). Für beliebige Verteilungen erfüllen die Standardabweichung und die Semivarianz nicht alle Bedingungen und gelten damit nicht als kohärente Risikomaße (ARTZNER et al., 1999; BERTSIMAS et al., 2004), während sie für elliptische und symmetrische Verteilungen (z.B. Normalverteilung) kohärent sind (BERTSIMAS et al., 2004).

Eine Schätzung des Expected Shortfalls ist jedoch wesentlich schwieriger als die Ermittlung des VaR, da nur seltene, besonders negative Ergebnisse und zusätzlich nicht nur nach Zahl, sondern auch nach Höhe einfließen. Besonders bei hohen Konfidenzniveaus kann dies ein Problem sein. Aufgrund dessen hat der Expected Shortfall im Gegensatz zum VaR keine robuste Statistik (HENKING et al., 2006). Zudem haben Ausreißer Einfluss auf den Expected Shortfall und können die Risikoeinschätzung stark verzerren, während der VaR relativ robust gegenüber Ausreißern ist, solange deren Eintrittswahrscheinlichkeit ausreichend klein ist (HENKING et al., 2006). Der Expected Shortfall kann auch als Sonderfall der LPM_1 mit einem beweglichen Zielwert gesehen werden, da das Target nicht einem festen Wert entspricht, sondern dem VaR. Damit wird immer der Durchschnitt der schlechtesten x % der Ergebnisse berechnet.

6.3.4.2.3 LPM_0

Die Hauptkritik an der Downside-Wahrscheinlichkeit besteht darin, dass zur Höhe der Targetunterschreitung keine Aussage gemacht wird (MEYER, 1999; PODDIG et al., 2005). Aus Sicht des Entscheiders ist aber nicht nur die Wahrscheinlichkeit einer Targetunterschreitung, sondern auch deren Ausmaß von großer Bedeutung (MEYER, 1999). So können trotz gleicher Erwartungswerte und Downside-Wahrscheinlichkeiten, Alternativen verschieden stark risikobehaftet sein (MEYER, 1999). Weiter ist es möglich, dass eine Alternative zwar geringere LPM_0 aufweist als eine andere, im Falle der Targetunterschreitung diese aber erheblich höher ausfällt (PODDIG et al., 2005). Die empirischen Ergebnisse von UNSER (2000) zeigen jedoch große Vorteile der Verlustwahrscheinlichkeit als Risikomaß, da die LPM_0 das Risikoempfinden der Leute von allen LPMs am besten repräsentieren, wobei sich ein Zielwert in Höhe des Einstandspreises empfiehlt (UNSER, 2000).

Zwar sind die LPM_0 leicht verständlich, interpretierbar und anschaulich, haben aber theoretische Defizite. Die „Safety First“ Ansätze, zu denen auch die LPM_0 zählen, verzichten ganz auf einen nutzentheoretischen Ansatz und verwenden ein ausfallsorientiertes Risikoverständnis. Besonders diese fehlende nutzentheoretische Grundlage ist ein Hauptkritikpunkt (PODDIG et al., 2005). Zudem wird angemerkt, dass die reine Minimierung der Ausfallwahrscheinlichkeit beim „Safety First“-Kriterium nach ROY, das der in der vorliegenden Studie verwendeten

Downside-Wahrscheinlichkeit entspricht, unzureichend erscheint, da weder die erwartete Rendite noch die Ausfallhöhe berücksichtigt wird (PODDIG et al., 2005).

Die Höhe des gewählten Targets hat ebenfalls einen kritischen Einfluss auf die Downside-Wahrscheinlichkeit, wie auch auf die LPMs erster und zweiter Ordnung. So nimmt das Downside-Risiko ab, jedenfalls nicht zu, wenn die gewählte Grenze tiefer angesetzt wird (MEYER, 1999). In der Praxis ist zudem ein Problem, dass die tatsächliche Verteilung der Erträge nicht bekannt ist und die Ermittlung der LPM_0 somit schwierig ist (JANSEN et al., 2000). Daneben meinen JANSEN et al. (2000), dass Investoren nur ab einer bestimmten Verlustwahrscheinlichkeitsschwelle um die Sicherheit besorgt sind und ansonsten den erwarteten Ertrag maximieren. Unterstellt die Ermittlung der Downside-Wahrscheinlichkeit eine Normalverteilung der Ergebnisse, ist dieser Ansatz als alternative Kennzahl zur Standardabweichung, aber nicht als neuer Ansatz, zu bewerten (MEYER, 1999).

Allerdings gab es bei den für die vorliegende Studie durchgeführten Portfoliooptimierungen nur bei der Verlustwahrscheinlichkeit Probleme bei der praktischen Umsetzung. Zunächst ist die Frage, ob es einen großen Unterschied macht, ob keine oder drei von 10.000 Annuitäten negativ sind, da beides nicht in Prozent ausdrückbar ist. Dies führt zu der Frage, wo die Grenze ist, ab der die Anzahl negativer Annuitäten schon eine Rolle spielt. Daneben zeigte sich, dass es eine Vielzahl von lokalen Minima der Verlustwahrscheinlichkeit gibt, was bei der Optimierung mit dem Excel Solver problematisch war.

6.3.4.2.4 LPM_1

Bei diesem Risikomaß wird die Höhe der Unterschreitung proportional zu ihrem Ausmaß berücksichtigt. Somit wird eine doppelt so hohe Unterschreitung doppelt so hoch gewichtet (PODDIG et al., 2005). An dieser Stelle wird eingewandt, dass die Nutzeneinbußen für den Investor nicht proportional zum Ausmaß der Unterschreitung ansteigen, sondern überproportional (PODDIG et al., 2005). Diese überproportionale Abnahme folgt aus den üblichen Annahmen für Nutzenfunktionen in der ökonomischen Theorie. Demnach ist die erste Ableitung der Nutzenfunktion positiv, die zweite aber negativ, was dem „GOSSEN'SCHEN Gesetz des abnehmenden Grenznutzens“¹⁹ entspricht (PODDIG et al., 2005). Daraus folgt, dass die Nutzenfunktion einen streng konkaven Verlauf hat, so dass in der Höhe zunehmende Unterschreitungen des Zielwertes überproportionale Nutzeneinbußen zur Folge haben müssten. Im Gegensatz zu den LPM_1 wird dies bei den LPM_2 berücksichtigt (PODDIG et al., 2005). JARROW und ZHAO (2006) optimierten allerdings Portfolios mit dem LPM_1 - und dem LPM_2 -Ansatz und erzielten qualitativ ähnliche Ergebnisse, was in der vorliegenden Studie auch zu beobachten war.

Daneben ist die Festlegung des Targets in der vorliegenden Studie auf eine Annuität von Null bei allen LPMs subjektiv eingängig. Auch stellt UNSER (2000) fest, dass der anfängliche Kaufpreis für Investoren die passendste Targetschwelle ist. Dies wird ebenfalls mit einer Annuität von Null erreicht, da negative Annuitäten analog zu Kaufpreisunterschreitungen be-

¹⁹ Nach dem Gesetz des abnehmenden Grenznutzens nimmt beispielsweise der Nutzen eines zusätzlichen Euros Einkommen mit steigendem Einkommen einer Person ab (MANKIWI, 1999).

deuten, dass man mehr Geld investiert hat, als man unter Berücksichtigung der Investitionszeiträume und der alternativen Geldanlage wieder herausbekommen hat.

6.3.4.2.5 LPM₂

Die Downside-Varianz mit dem Sonderfall Semivarianz besitzt den engsten Bezug zum traditionellen Risikoverständnis. So werden zunehmende Abweichungen vom Bezugspunkt (hier Target statt Mittelwert), allerdings nur die negativen, quadratisch und damit überproportional gewichtet, wie dies auch bei der Varianz erfolgt (PODDIG et al., 2005). Aufgrund der Nähe zum traditionellen Portfolio-Ansatz besitzt die Anwendung der LPM₂ unter den alternativen Optimierungsansätzen die größte Verbreitung in Theorie und Praxis (PODDIG et al., 2005). Die Downside-Varianz ist jedoch als Risikomaß erklärungsbedürftig und erscheint zunächst nicht leicht zu interpretieren (MEYER, 1999).

Die große Nähe zum klassischen Varianz-Ansatz zeigt sich auch wie folgt: Für einen Wert des Targets in Höhe des Mittelwertes werden die LPM₂ zur Semivarianz (z.B. ATWOOD, 1985; EFTEKHARI, 1998; GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; BROGAN und STIDHAM, 2005). Für eine symmetrische Verteilung bzw. eine Normalverteilung sind die LPM₂ proportional zur Varianz (LEE und RAO, 1988; EFTEKHARI, 1998). Stimmen zudem das Target und der Mittelwert der Verteilung überein entsprechen die LPM₂ der Hälfte der Varianz und führen zur gleichen Reihung der risikobehafteten Investitionen (EFTEKHARI, 1998; ALBRECHT, 2001). Bei GROOTVELD und HALLERBACH (1999) wurden für eine Targetrendite von 0 % die größten und für ein Target in Höhe des Erwartungswertes die geringsten Unterschiede in der Portfoliozusammensetzung gegenüber dem „Mean-Variance-Ansatz“ ermittelt.

In einer Studie zum LPM₂ von EFTEKHARI (1998) zeigte sich, dass die Erträge von Portfolios gegenüber dem klassischen „Mean-Variance-Ansatz“ steigen, da nur der ungewollte Teil der Streuung minimiert wird. Diese Ergebnisse demonstrieren zudem, dass das Downside-Risiko so effektiv reduziert werden kann (EFTEKHARI, 1998). Daneben wurde festgestellt, dass hohe Targets zu risikominimalen Portfolios führen, die höhere Erwartungswerte aufweisen als die über den klassischen Weg zusammengestellten (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Allerdings wurde auch festgehalten, dass die Unterschiede in den optimalen Portfolios nach den LPM₂ mit verschiedenen Targets im Vergleich zu den Unterschieden zum „Mean-Variance-Ansatz“ deutlich größer sind (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Daraus ist der starke Einfluss des gewählten Targets ersichtlich.

6.3.4.3 Verhältnisse zu anderen Risikomaßen

Die bisher vorgestellten Risikomaße basieren auf den Ergebnisverteilungen die z.B. in einer Monte-Carlo-Simulation ermittelt wurden. Allerdings können diese nicht die unbekanntenen Risiken der Zukunft abdecken. Diesen Aspekt zu integrieren ist mit der Information-Gap Theorie von BEN-HAIM (2006) möglich, mit der die Robustheit einer Entscheidung gegenüber Informationen, die für die Zukunft unzutreffend sind, maximiert werden kann (KNOKE, 2008a). Es ist jedoch festzustellen, dass die Minimierung der Verlustwahrscheinlichkeit zur gleichen Vorteilhaftigkeitsreihung führt, wie die Maximierung der Robustheit nach der Information-Gap Theorie von BEN-HAIM (2006) (KNOKE, 2008a). Dies ergibt sich daraus, dass die ermittelte Verlustwahrscheinlichkeit der einzig flexible Parameter in der Formel zur

Berechnung der Robustheit (KNOKE, 2008a) ist, so dass deren Minimierung gleichzeitig die Robustheit maximiert. Somit liegt der Unterschied bisher in der Interpretation der Robustheit als Maximierung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Fehlern in der vorhandenen Information (KNOKE, 2008a). Die Verlustwahrscheinlichkeit und der VaR können daneben auch den Variationen des „Safety First“-Ansatzes nach ROY bzw. KATAOKA entsprechend zugeordnet werden (PODDIG et al., 2005).

Der LPM-Ansatz steht im Einklang mit der Entscheidungstheorie (EFTEKHARI, 1998; MEYER, 1999). Der Exponent der LPMs bestimmt den Grad, ob eine über- oder unterproportionale Gewichtung größerer Unterschreitungen des Zielwertes erfolgt (PODDIG et al., 2005). Für Ordnungen und damit Exponenten größer 1 kommt es zu einer überproportionalen Gewichtung, so dass dieser Ansatz mit dem streng konkaven Verlauf der Nutzenfunktion in der ökonomischen Theorie konsistent ist. Ordnungen kleiner eins würden eine konvexe Nutzenfunktion unterstellen (PODDIG et al., 2005). Der Exponent bzw. die Ordnung der LPMs spiegelt somit die Einstellung des Investors gegenüber Unterschreitungen des Targets in unterschiedlicher Höhe und damit seine Risikopräferenz wieder, von der auch die Form der Risikonutzenfunktion abhängt (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; MEYER, 1999; PERSSON, 2000).

Ist ein Investor risikoneutral liegt nur eine positive erste Ableitung der Nutzenfunktion vor ($u' > 0$) (MEYER, 1999; PERSSON, 2000). Die Verlustwahrscheinlichkeit stimmt folglich mit allen Nutzenfunktionen von Investoren überein, die mehr Geld weniger vorziehen (PERSSON, 2000). Auch die anderen Ordnungen zeigen eine positive erste Ableitung, so dass diese Annahme ebenfalls gilt (PERSSON, 2000). Für einen risikoaversen Entscheider ist die erste Ableitung der Risikonutzenfunktion positiv, die zweite negativ ($u' > 0$, $u'' < 0$). Somit ist der LPM_1 -Ansatz mit allen Nutzenfunktionen für Risikoaversion konsistent ($u' > 0$; $u'' < 0$) (HARLOW und RAO, 1989; MEYER, 1999; PERSSON, 2000). Allerdings zeigte FISHBURN (1977), dass die erste Ordnung zu einem risikoneutralen Investor passt und risikofreudiges Verhalten mit einem Exponent größer Null und kleiner eins von risikoaversem Verhalten mit einem Exponent von größer eins trennt (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Diese Einwertung stimmt auch mit den von PODDIG et al. (2005) dargestellten Formen der Nutzenfunktion überein. Somit zeigen sich bei der nutzentheoretischen Einordnung der LPM_1 Widersprüche. Die LPM_2 sind ebenso für alle Nutzenfunktionen bei Risikoaversion gültig und bilden daneben noch Schiefepräferenzen ab, da die dritte Ableitung wieder positiv ist ($u' > 0$; $u'' < 0$ und $u''' > 0$) (HARLOW und RAO, 1989; MEYER, 1999; PERSSON, 2000).

Das Kriterium der Stochastischen Dominanz kann ebenfalls verwendet werden, um effiziente Portfolios für Investoren abzuleiten, die den erwarteten Nutzen maximieren (HOMAIFAR und GARADDY, 1990). Dabei gelten für den sehr generellen Ansatz der Stochastischen Dominanz weniger strenge Annahmen über die Form der Nutzenfunktion und/oder der Wahrscheinlichkeitsverteilung der risikobehafteten Anlagen als beim „Mean-Variance-Ansatz“ (HOMAIFAR und GARADDY, 1990). Die zentrale Idee des Ansatzes der Stochastischen Dominanz ist, dass im Entscheidungsproblem dominierte Alternativen aussortiert werden, wozu paarweise die gesamten Verteilungsfunktionen der Ergebnisse verglichen werden (UNSER, 2000).

Bei der Stochastischen Dominanz erster Ordnung dominierende Portfolios sind für alle Individuen vorteilhaft, die mehr Geld weniger Geld vorziehen (UNSER, 2000; VINOD, 2004). Ein nach der Stochastischen Dominanz zweiter Ordnung dominierendes Portfolio empfiehlt sich

für alle Individuen, die risikoavers sind und die höhere Erträge geringern vorziehen (UNSER, 2000; VINOD, 2004). Bei gleichem Erwartungswert ziehen sie die Investition mit geringerem Risiko vor (KNOKE, 2008a). Die Wahl eines nach der dritten Ordnung der Stochastischen Dominanz vorteilhaften Portfolios ist für Investoren geeignet, die zusätzlich eine positive Schiefe vorziehen (UNSER, 2000; VINOD, 2004; POST und van VLIET, 2006). Dabei ist zu erwähnen, dass Effizienz nach der dritten Ordnung der stochastischen Dominanz bedeutet, dass auch eine Dominanz nach der ersten und zweiten Ordnung vorliegt (POST und VAN VLIET, 2006).

Trotz des theoretischen Reizes der Stochastischen Dominanz ist dieser Ansatz für die Portfoliooptimierung praktisch nur schwer anwendbar. So bedeutet die Bestimmung der nach der Stochastischen Dominanz nicht dominierten Alternativen unendlich viele paarweise Vergleiche der entsprechenden Verteilungsfunktionen, was rechentechnisch nicht ausführbar ist (BAWA, 1978; GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; GOTOH und KONNO, 2000). Aus diesem Grund schwenkte das Interesse zu den einfacher anwendbaren LPM-Ansätzen (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999), die eine enge Verbindung zu den Ansätzen der Stochastischen Dominanz aufweisen.

So ergeben die LPMs nullter und höherer Ordnungen Ergebnisse, die nach stochastischer Dominanz erster Ordnung dominieren (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). FISHBURN (1977) bewies daneben, dass für Exponenten der LPMs größer oder gleich 1 die vorteilhaften Ergebnisse eine Teilmenge der nach der Stochastischen Dominanz zweiter Ordnung dominierenden Ergebnisse sind (ATWOOD, 1985). BAWA (1975) zeigte, dass der LPM₂-Ansatz genutzt werden kann, um effiziente Portfolios nach der Stochastischen Dominanz dritter Ordnung zu ermitteln (BROGAN und STIDHAM, 2005). Der Autor wies nach, dass die für die LPM₂ vorteilhaften Ergebnisse eine Teilmenge der nach der Stochastischen Dominanz dritter Ordnung nicht dominierten Ergebnisse sind (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; VINOD, 2004). Für höhere Ordnungen der LPMs werden auch Ergebnisse erzielt, die nach der Stochastischen Dominanz dritter Ordnung dominieren (ATWOOD, 1985; GROOTVELD und HALLERBACH, 1999). Der LPM-Ansatz ist somit ein Weg, um die rechentechnischen Probleme bei Anwendung der stochastischen Dominanz zu reduzieren und dennoch zulässige Portfolios bestimmen zu können (LEE und RAO, 1988; PERSSON, 2000). Allerdings erhält man mit diesem Ansatz nur eine Teilmenge der vorteilhaften Ergebnisse bei Stochastischer Dominanz (PERSSON, 2000).

Aus theoretischer Sicht ist die Portfoliowahl über die Stochastische Dominanz gegenüber den klassischen „Mean-Variance-Ansätzen“ überlegen (GOTOH und KONNO, 2000). Gilt die Normalverteilungshypothese, liefert auch das „Mean-Variance-Konzept“ von MARKOWITZ (1952) nach der Stochastischen Dominanz zweiter Ordnung vorteilhafte Ergebnisse (GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; BROGAN und STIDHAM, 2005). Daneben wurde das CAPM (vgl. Kapitel 3.2) um verschiedene Downside-Risikomodelle erweitert (z.B. TASCHE, 2000; OLMO, 2007). Ebenso kommt die Sharpe-Ratio in abgewandelter Form mit einem Downside-Risikomaß anstatt der Standardabweichung zum Einsatz, um das vorteilhafte Portfolio zu bestimmen (z.B. GROOTVELD und HALLERBACH, 1999; MAURER und REINER, 2002; BROGAN und STIDHAM, 2005). Hierbei wird nicht, wie in dieser Untersuchung, das risikominimale Portfolio unter Downside-Risiko bestimmt, sondern das Tangentialportfolio.

6.4 Einordnung der Studie in den wissenschaftlichen Kontext

Nach methodischen Aspekten werden im folgenden Kapitel die in der vorliegenden Studie erzielten Ergebnisse mit denen anderer wissenschaftlicher Untersuchungen verglichen.

6.4.1 Studien zur Sortimentsdiversifikation

Auf das Hauptproblem der Sortimentsdiversifikation bzw. die Hauptursache für die oftmals ermittelten geringen Effekte einer solchen Strategie weisen JACOBSEN und HELLES (2006) hin. So fallen bei der Ernte eines Baumes üblicherweise verschiedene Sortimente an, was die Diversifikationseffekte reduziert. Daneben gingen JACOBSEN und HELLES (2006) davon aus, dass die Sortimentspreise stark positiv korreliert sind, was jedoch in der Datengrundlage der vorliegenden Studie nur teilweise festzustellen war. Diese Ausgangslage begünstigt natürlich die hier untersuchten bzw. festgestellten Diversifikationseffekte. Die starke Übereinstimmung in den Holzanfällen geasteter und ungeasteter Bestände wird auch von BEINHOFER und KNOKE (2007b) als Ursache für die hohe Korrelation zwischen den Kapitalwerten und damit für die festgestellten geringen Diversifikationseffekte gesehen.

Dagegen wurden in der vorliegenden Studie ganz deutliche Risikosenkungen durch Mischung der beiden Bestände ermittelt, während sich die optimalen Portfolios oft etwa hälftig aus diesen beiden Beständen zusammensetzten. Dies kann damit erklärt werden, dass in der vorliegenden Arbeit kalamitätsbedingte Bestandesausfälle einbezogen wurden, die positive Korrelationen zwischen einzelnen Beständen stark herabsetzten und zu deutlicheren Diversifikationseffekten führten (KNOKE et al., 2005; BEINHOFER, 2009b). Dieser Effekt lässt sich durch die geringe Korrelation natürlicher Gefahren für einzelne Bestände erklären (KNOKE et al., 2005; 2008). Zudem erfolgte in der vorliegenden Studie noch eine zeitliche Diversifikation durch unterschiedliche Umtriebszeiten der beiden Fichtenbestände, was die Korrelation der Annuitäten durch zusätzliche unabhängige Einnahmen ebenso reduziert. Darüber hinaus wurde das Industrieholz gesondert behandelt und als zusätzliches Sortiment bewertet, dessen Preise nicht vollständig positiv korreliert sind. In Summe bewirken diese Faktoren eine deutliche Verringerung der Korrelation zwischen den zwei Fichtenbeständen (0,07 gegenüber 0,86).

Durch Portfoliobildung aus den sechs konventionell erzeugten Beständen konnte in der vorliegenden Studie die nach der Standardabweichung risikominimale Mischung eine Risikoreduktion von 80 % wie bei REEVES und HAIGHT (2000) erzielen, die das allerdings mit zwei Beständen erreichen. Die risikoreichsten Fichtenbestände sind an diesem Portfolio jedoch, wie auch bei den Nadelholzportfolios von BEINHOFER (2009b), nur minimal beteiligt. Bei REEVES und HAIGHT (2000) ist der risikoreichste Bestand, auf den sich die Risikoreduktion bezieht, auch nicht am risikominimalen Portfolio beteiligt. Allerdings reduziert sich in der vorliegenden Arbeit die Annuität durch diese Mischung um über 110 % gegenüber dem risikoreichsten Bestand, während sich bei REEVES und HAIGHT (2000) das erwartete Einkommen nur halbiert. Dagegen wird bei BEINHOFER (2009b) die Annuität ebenso deutlich überproportional reduziert.

Das nach der Standardabweichung vorteilhafte Portfolio aus „optimierten“ Beständen zeigt gegenüber der Komponente mit höchster Annuität sogar eine prozentuale Risikoreduktion von 95 % und damit im Vergleich zu den Ergebnissen von REEVES und HAIGHT (2000) eine deutlich höhere. Allerdings reduziert sich dadurch die Annuität viel stärker, als bei REEVES und HAIGHT (2000) das erwartete Einkommen. In der vorliegenden Studie sind zudem 9 der 12 möglichen Bestände an der risikominimalen Mischung beteiligt, während es bei REEVES und HAIGHT (2000) nur 2 von 5 Beständen sind. Sowohl in der vorliegenden Studie, als auch bei REEVES und HAIGHT (2000) ist die risikoreichste Variante nicht beteiligt, dennoch bezieht sich die Risikoreduktion auf sie. In den Beständen von REEVES und HAIGHT (2000) wird ausschließlich ein Sortiment, entweder Sägeholz oder Industrieholz, geerntet. Diese klare Trennung war in der vorliegenden Untersuchung nur teilweise möglich, so dass die Effekte der Sortimentsdiversifikation zwar so weit wie möglich, aber nicht völlig ausgeschöpft wurden. Dafür bewirken die zeitliche Streuung der Holzernten durch unterschiedliche Umtriebszeiten sowie die Integration des Kalamitätsrisikos eine zusätzliche Reduktion der Korrelationen und steigern damit die Diversifikationseffekte. Daneben geben REEVES und HAIGHT (2000) den VaR verschiedener Portfolios für Konfidenzniveaus von 95 % und 99 % an. Das risikominimale Portfolio wäre demnach für ein Konfidenzniveau von 99 % vorteilhaft, während für das 95 %ige ein Portfolio mit nur etwas höherem Einkommen optimal ist. Dagegen unterscheiden sich in der vorliegenden Studie die nach diesen Kriterien optimierten Portfolios sehr deutlich.

Bei den von BEINHOFER (2009b) ermittelten optimalen Nadelholzportfolios werden die nach der Standardabweichung risikominimalen Portfolios immer von Kiefer bestimmt, was hier bei den konventionell behandelten Beständen auch der Fall ist, während bei den „optimierten“ Beständen die Eiche vorherrscht. Für konventionell behandelte Bestände dominiert die Fichte in beiden Studien die übrigen mit dem Sicherheitsäquivalent und dem VaR optimierten Portfolios. Das nach dem Sicherheitsäquivalent für normale Risikoaversion vorteilhafte Portfolio aus optimierten Beständen enthielt bei BEINHOFER (2009b), wie in der vorliegenden Studie nur Fichtenwert- und -sägeholzbestände. Während hier für das Sicherheitsäquivalent und starke Risikoaversion sowie den VaR der Eichenwertholzbestand neben den Fichtenwert- und -sägeholzbeständen an den vorteilhaften Portfolios beteiligt ist, gilt dies bei BEINHOFER (2009b) für den Fichtenindustrieholzbestand. Somit sind in dieser Arbeit und bei BEINHOFER (2009b) die drei Bestände mit höchster Annuität beteiligt.

Vergleicht man die Ergebnisse von Portfolios aus konventionell bewirtschafteten Beständen und aus „optimierten“ Beständen, bestätigen sich in der vorliegenden Untersuchung die Folgerungen von BEINHOFER und KNOKE (2007b), wonach für eine erfolgreiche Diversifikation auf Sortimentsebene möglichst nur ein Sortiment je Mischungskomponente anfallen sollte. Sie leiten diese Folgerung aus einer eigenen Studie (BEINHOFER, 2006; BEINHOFER und KNOKE, 2007b) und Ergebnissen von JACOBSEN und HELLES (2006) sowie REEVES und HAIGHT (2000) ab. So zeigen die Portfolios aus „optimierten“ Beständen, die entweder nur ein Sortiment liefern oder zumindest eines die Einnahmen dominiert, deutlich größere Diversifikationseffekte und geringere Korrelationen. Bei der Ermittlung von vorteilhaften Portfolios aus konventionell bewirtschafteten und „optimierten“ Nadelholzbeständen stellte

BEINHOFER (2009b) ebenfalls fest, dass die „optimierten“ Bestände zu viel größeren Mischungseffekten führen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Portfolios aus „optimierten“ Beständen die Erwartungen weitgehend erfüllt haben und sich daraus interessante Möglichkeiten für die Behandlung von Waldbeständen und die Sortimentsdiversifikation ableiten lassen. Zudem lässt sich folgern, dass das Risiko durch Diversifikation der produzierten Holzsortimente gesenkt werden kann.

6.4.2 Studien zur Baumartendiversifikation

Nachdem in der vorliegenden Studie nicht nur die Sortiments-, sondern auch die Baumartendiversifikation berücksichtigt wurde, werden die Ergebnisse im Folgenden auch mit anderen Studien zu diesem Thema verglichen. Insgesamt zeigen die allermeisten Studien Diversifikationseffekte durch den Anbau verschiedener Baumarten (z.B. KNOKE et al., 2005).²⁰ Lediglich HYYTIÄINEN und PENTTINEN (2008) folgern aus den hohen Korrelationen zwischen den verschiedenen Holzpreisen, die zu hohen Erlöskorrelationen führen, dass der Anbau mehrerer Baumarten nur geringe Effekte bewirkt. Auch DEEGEN et al. (1997), die aufgrund der Baumarteninteraktionen die Portfoliotheorie für ungeeignet zur Optimierung von Baumartenanteilen halten, ermitteln einen Douglasienbestand als Optimum für einen risikoneutralen Waldbesitzer, während Mischbestände schlechter abschneiden.

WEBER (2002) sowie MOOG und WEBER (2001) betrachteten wie die vorliegende Studie Portfolios aus den vier deutschen Hauptbaumarten. Die Ergebnisse unterscheiden sich jedoch deutlich von denen der vorliegenden Arbeit. So weist die Eiche gefolgt von der Buche für einen Investitionszeitraum von 20 Jahren, der nach WEBER (2002) der forstlich relevanteste ist, die höchste Rendite auf, gefolgt von Fichte und Kiefer. Mit der Rendite reduziert sich auch die Standardabweichung und damit das Risiko (WEBER, 2002). Im Gegensatz dazu ist die Vorteilhaftigkeitsreihung in der vorliegenden Studie fast umgedreht. Allerdings ähneln sich die nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios beider Studien. Während dieses bei WEBER (2002) sowie MOOG und WEBER (2001) zu 95 % aus Kiefer besteht und der Rest von Buche eingenommen wird, dominiert in der vorliegenden Arbeit die Kiefer mit fast 70 %, ergänzt um etwa gleiche Anteile von Buche und Eiche. Mit Hilfe von Nutzenfunktionen ermittelte WEBER (2002) eine Einzelinvestition in Eiche als optimal, wohingegen in der vorliegenden Untersuchung bei den konventionell erzogenen Beständen ein reines Fichtenportfolio vorteilhaft ist. Somit besteht die vorteilhafte Mischung zwar aus verschiedenen Baumarten, es handelt sich aber immer um die finanziell attraktivste Baumart.

Die erwähnten Unterschiede können mit der verschiedenen Herangehensweise in diesen Studien erklärt werden. So geht WEBER (2002) von normal aufgebauten Betriebsklassen der Baumarten aus, die für Investitionszeiträume zwischen einem und 20 Jahren gekauft bzw. verkauft werden können. Daneben berücksichtigt er in seiner Bewertung nur Sägeholz der Güteklasse B und kein Industrie- oder Wertholz, womit keine Sortimentsdiversifikation ana-

²⁰ Aufgrund der Vergleichbarkeit der Baumarten und Produktionsverhältnisse werden im Folgenden nur die Studien, die unter mitteleuropäischen Verhältnissen durchgeführt wurden näher diskutiert. Ein Überblick über alle Studien zur Baumartendiversifikation findet sich im Kapitel 3.

lysiert wird. Bei WEBER (2002) ergeben sich zudem recht hohe positive Korrelationen zwischen den Performance Indizes der einzelnen Baumarten (0,31 bis 0,90). Besonders die Korrelation zwischen den Kiefern- und Fichtenbeständen entspricht etwa der in der vorliegenden Studie beobachteten Korrelation zwischen Fichten- und Kiefern-sägeholzpreisen. Die ermittelten Korrelationen der vorliegenden Untersuchung zwischen den einzelnen Beständen sind insgesamt deutlich geringer, was zu einem großen Teil auf die Berücksichtigung des Kalamitätsrisikos zurückzuführen ist (KNOKE et al., 2005; BEINHOFER, 2009b). Daneben sind durch die Betrachtung weiterer Sortimente, neben dem Sägeholz der Güteklasse B, zusätzliche Reduktionen der Korrelation zu erwarten, waren die Preise der Sortimente doch teilweise gering bis negativ korreliert. In die Renditeberechnungen von WEBER (2002) fließen darüber hinaus die Überschüsse eines Normalwaldes, Verwaltungskosten und sonstige Bewirtschaftungskosten, genauso wie der Bodenwert ein. Demgegenüber wurde in der vorliegenden Untersuchung die Entwicklung einzelner Bestände über eine Umtriebszeit finanziell abgebildet und auf die Integration der drei genannten Größen verzichtet.

Erhebliche Unterschiede in der Einschätzung der Baumart Buche ergeben sich gegenüber den zahlreichen Untersuchungen zur Mischung von Buche und Fichte (z.B. KNOKE, 2004; 2005). Im Gegensatz zu diesen Studien ist die Buche hier nur am Risikominimum nach der Standardabweichung beteiligt, wohingegen sie in allen übrigen, nach verschiedenen Kenngrößen optimierten Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen fehlt. Es fällt jedoch auf, dass in den Untersuchungen z.B. von KNOKE et al. (2005) oder KNOKE und WURM (2006) die Buchenbestände für einen Zinssatz von 2 % im Gegensatz zu den hier erzielten Ergebnissen positive Kapitalwerte aufweisen. Die Unterschiede zu diesen beiden Studien sowie denen von KNOKE (2004; 2005; 2008a) und KNOKE und HAHN (2007) werden im Folgenden gemeinsam besprochen, nachdem sie alle auf der selben Datengrundlage basieren.

Zunächst zeigt der Buchenbestand bei den Untersuchungen von KNOKE einen deutlich höheren Holzanfall, der sich über die Umtriebszeit auf mehr als 200 fm summiert. Daneben wurde in den Studien von KNOKE (z.B. KNOKE et al., 2005) mit deutlich geringeren Kulturkosten für die Buche von nur 3.000 €/ha gerechnet. Während sich die Überlebenswahrscheinlichkeiten von Buche in der vorliegenden Studie und den Untersuchungen von KNOKE etwa entsprechen, unterscheiden sich die der Fichte zum Teil stärker. So verwendet KNOKE (2004) höhere Überlebenswahrscheinlichkeiten für Fichte als in der vorliegenden Arbeit, KNOKE et al. (2005) ähnliche, ehe sie in einer Szenarioanalyse verringert werden, und KNOKE und WURM (2006) geringere. Darüber hinaus geht KNOKE von kürzeren Umtriebszeiten bei der Buche und etwas längeren Umtriebszeiten als beim ungeasteten Fichtenbestand der vorliegenden Arbeit aus. Eine entsprechend kürzere Umtriebszeit hätte hier allerdings kaum Einfluss auf die Annuität der Buche.

Wesentliche Unterschiede bestehen noch in den zugrunde liegenden Zeiträumen der Holzpreisstatistik. Um diese Aspekte zu beleuchten, wurde mit den von KNOKE und WURM (2006) angegebenen Zahlungsströmen die Monte-Carlo-Simulation und die Portfoliooptimierung wiederholt. Wurde im Quotient zur Integration der Holzpreisschwankungen (vgl. Kapitel 6.3.2) der zum Bewertungszeitpunkt erzielbare Preis des Referenzsortiments verwendet, bestand das optimale Portfolio nach dem Sicherheitsäquivalent zu 100 % aus Fichte. Wird im Quotient der Durchschnittspreis verwendet, ist für hohe Risikoaversion erstmals Buche mit

8 % am optimalen Portfolio beteiligt. KNOKE und WURM (2006) hingegen ermitteln in der Variante ohne holzpreisabhängige Holzernte optimale Anteile von über 30 % für normale und über 50 % für starke Risikoaversion.

Somit lassen sich die Unterschiede zu großen Teilen aus der in der Monte-Carlo-Simulation verwendeten Holzpreisgrundlage erklären. In der vorliegenden Arbeit werden Holzpreise ab 1972 verwendet und nicht erst ab 1980 (KNOKE und WURM, 2006), wodurch die Preiskorrelation leicht positiv und nicht negativ ist. Dies erklärt sich dadurch, dass die Holzpreise beider Baumarten in den 1970er Jahren gleichsam ansteigen, ab 1980 aber deutlich voneinander abweichen, da die Buchenpreise bis 2001 stark ansteigen, während die Fichtenpreise eher fallen. In den zusätzlichen Holzpreisjahrgängen vor 1980 gibt es zudem nur stark unterdurchschnittliche Buchenpreise, während die Fichtenpreise weniger unterdurchschnittlich sind und absolute Höhen wie in den 1990er Jahren zeigen. Somit bewirken diese zusätzlichen Holzpreisjahrgänge bei der Buche deutlichere Einnahmereduktionen in der Monte-Carlo-Simulation als bei der Fichte und stellen damit einen Hauptgrund für die unterschiedlichen Ergebnisse dar.

Die Ergebnisse von KNOKE und WURM (2006) dienen auch als Referenz bei KNOKE und SEIFERT (2008), in deren Studie die Effekte von kleinflächigen Mischungen integriert wurden. Dies hatte zur Folge, dass ab einem Fichtenanteil von 40 % größere Kapitalwerte erzielt wurden als bei Mischung in großen Blöcken. Ab einem Fichtenanteil von 60 % war der Kapitalwert bei gleichzeitig geringerem Risiko größer als im reinen Fichtenbestand (KNOKE und SEIFERT, 2008). In der vorliegenden Studie wurden jedoch keine Effekte kleinflächiger Mischungen evaluiert, wodurch die Ergebnisse nicht ohne weiteres zu vergleichen sind. Auch die Studie von KNOKE (2008b) mit der Erweiterung des Portfolios um Douglasie basiert auf den selben Daten zu Fichte und Buche, wie die oben diskutierten Studien. Die Douglasie, die in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt wurde, erzielt stets erhebliche Anteile und verdrängt die Fichte teilweise komplett aus dem optimalen Portfolio (KNOKE, 2008b).

Ebenfalls hohe vorteilhafte Buchenanteile ergeben sich in einer Berechnung von KNOKE et al. (2008). Nach der von ihnen verwendeten Nutzenfunktion ist für hohe Risikoaversion ein Anteil von über 50 %, bei normaler Risikoaversion ein Anteil von 35 % vorteilhaft. Die verwendeten Eingangsdaten stammen von MÖHRING (2004), der für nachhaltig aufgebaute Betriebsklassen von Buche und Fichte, die sich beide natürlich verzüngen, Reinerträge ableitet. Zum einen profitiert die Buche durch den Wegfall der Kulturkosten im Naturverzüngungsbetrieb stärker als die Fichte. Zum anderen werden durch den Betriebsklassenansatz Ausgaben nicht über lange Zeiträume verzinst. Vielmehr kapitalisieren KNOKE et al. (2008) die von MÖHRING (2004) ermittelten Reinerträge und kalkulieren mit diesen Barwerten optimale Portfolios.

Die in der Szenarioanalyse zum Zinssatz erzielten Ergebnisse sind schwer mit in der Literatur zu findenden Studien zu vergleichen, da diese entweder mit Renditen operierten (z.B. MILLS und HOOVER, 1982; THOMSON, 1991; WAGNER und RIDEOUT, 1992) oder den verwendeten Zinssatz nicht variierten (z.B. KNOKE, 2004; KNOKE und HAHN, 2007; BEINHOFER, 2009b). BEINHOFER (2006) und BEINHOFER und KNOKE (2007b) führen ihre Portfoliobetrachtungen mit geasteten und ungeasteten Fichtenbeständen für Zinssätze von 0 % bis 5 % durch. Besonders bei hohen Astungsbaumzahlen reduziert sich für höhere Zinssätze der nach dem Sicherheitsäquivalent vorteilhafte Astungsanteil, ehe ab Zinssätzen von 4 % und 5 % immer ein

völliger Verzicht auf Astung vorteilhaft ist. Somit entsprechen die in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Trends denen dieser zwei Studien. KNOKE und SEIFERT (2008) berücksichtigen in ihrer Studie zur Integration von Baumarteninteraktionen in Fichten-Buchenportfolios Zinssätze von 2 % und 3 % und stellten für beide Zinssätze ähnliche Grundtendenzen fest.

Zudem sind die in der vorliegenden Studie ermittelten Renditen nur mit Arbeiten vergleichbar, die unter mitteleuropäischen Verhältnissen durchgeführt wurden. So geben WIPPERMANN und MÖHRING (2001) eine Rendite der Fichtenforstwirtschaft von 4,64 % an. Darin geht aber neben dem Überschuss realer Forstbetriebe (Überschussrendite 1,42 %) die Entwicklung des Bodenwertes (Rendite 2,19 %) und des Werts des aufstockenden Holzes (Rendite 1,03 %) ein. Die Gesamrendite liegt zwar im gleichen Bereich wie hier die der konventionell behandelten Fichtenbestände, jedoch gehen bei WIPPERMANN und MÖHRING (2001) wesentlich andere Eingangsgrößen ein, was die Ergebnisse schwer vergleichbar macht.

Eine Renditereihung der vier Hauptbaumarten gibt WEBER (2002) an. Demnach weist für einen Zeitraum von 20 Jahren mit 4,4 % die Eiche die höchste Rendite auf. Die Fichte folgt erst knapp hinter der Buche an dritter Stelle mit einer Rendite von 3,3 %. Über einen Zeitraum von 1 Jahr hingegen weist die Fichte bei WEBER (2002) mit 4,3 % die höchste Rendite auf. In diesem Fall liegen die Renditen der Fichtenbetriebsklasse von WEBER (2002) und der konventionell behandelten Fichtenbestände in der gleichen Größenordnung. Allerdings folgt die Eiche gleich an zweiter Stelle mit einer Rendite von fast 4 %. In der vorliegenden Studie hat der konventionell behandelte Eichenbestand jedoch eine Rendite von unter 1 %, die Buchen- und Kiefernbestände von unter 2 %.

Es ist weiter zu beobachten, dass in anderen Teilen der Welt wesentlich höhere Renditen mit Wald erzielt werden können (z.B. THOMSON, 1997: Douglasie 17 %, „Southern Pine“ 11 %; DUFFNER, 1999: etwa 13 %). Ein großer Teil der Rendite ist jedoch oft auf die Entwicklung des Bodenpreises zurückzuführen (z.B. MILLS und HOOVER, 1982: $\frac{1}{3}$ der Rendite; WIPPERMANN und MÖHRING, 2001: fast 50 %), der in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt wurde.

6.5 Schlussfolgerungen

Zum Abschluss der Diskussion sollen noch Schlussfolgerungen aus den erzielten Ergebnissen gezogen werden. Diese sollen nach einer Empfehlung für die Wahl von Risikomaßen sowie Folgerungen für die Wissenschaft und für die forstliche Praxis untergliedert werden.

6.5.1 Empfehlung zu Risikomaßen

Grundsätzlich zeigte sich, dass es kein perfektes Risikomaß gibt und alle analysierten Risikokennzahlen auch Schwachstellen aufweisen. Allerdings ergab sich, dass die Standardabweichung kein geeignetes Risikomaß ist, liegen doch in der Realität oft keine Normalverteilungen vor. Damit scheidet auch die in dieser Studie verwendete Risikonutzenfunktion als geeignetes Beurteilungskriterium aus. Von den verbleibenden Downside-Risikomaßen erscheinen besonders die Verlustwahrscheinlichkeit und die Downside-Varianz empfehlenswert. Die Verlustwahrscheinlichkeit ist zum einen intuitiv einleuchtend und entspricht dem subjektiven

Risikoempfinden am besten (UNSER, 2000). Zum anderen führt sie zu den gleichen Ergebnissen wie die Optimierung nach der Information-Gap Theorie von BEN-HAIM (2006), wie KNOKE (2008a) zeigte. Die Information-Gap Theorie bevorzugt Alternativen, die die größte Toleranz gegenüber Fehlern in der verfügbaren Information aufweisen (KNOKE, 2008a). Gerade bei den langen Produktionszeiträumen in der Forstwirtschaft, die weit in die unsichere Zukunft reichen, erscheint dies ein passender Ansatz zu sein, da die verfügbaren Informationen unsicher und damit fehlerbehaftet sind. Die Downside-Varianz hat daneben die besten theoretischen Eigenschaften für risikoaverse Investoren (z.B. im Hinblick auf die Stochastische Dominanz oder die Nutzentheorie) und ist von den analysierten LPMs am weitesten in Theorie und Praxis verbreitet.

6.5.2 Schlussfolgerungen für die Wissenschaft

6.5.2.1 Erforderliche Verbesserung der Datengrundlage

Zunächst einmal ist festzustellen, dass die „optimierten“ Varianten teilweise auf einer dünnen Datengrundlage basieren. Gerade die weitständige Begründung von Beständen und die folgende Entwicklung, auch der Holzqualität, sind noch ein großes offenes Forschungsfeld. Besonders im Laubholzbereich sollten verstärkt entsprechende Versuchsflächen angelegt werden, vielleicht ähnlich dem Ansatz des „Solitärprogramms 1987“ beim Nadelholz (z.B. ABETZ und LÄSSIG, 1989). Zudem ist zu prüfen, welche Provenienzen sich durch ihre Wuchsform besonders für weitständig begründete Laubholzbestände eignen. Der Aspekt der Astung von Laubholz ist darüber hinaus hinsichtlich der Entwicklung der Holzqualität, aber auch der erforderlichen Ausgaben für die Astung, noch weiter abzusichern. Diese Gesichtspunkte sind auch ökologisch von Interesse, denn nur wenn finanziell attraktive Laubholzkonzepte auf einer soliden quantitativen Basis vorliegen, wird das Laubholz einen Platz im finanziell optimalen Baumartenportfolio einnehmen. Die Laubholzwirtschaft nach finanziellen Kriterien zu optimieren tut deswegen besonders Not. Ein weiteres Ziel sollte sein, dass zukünftig auch Waldwachstumsprogramme solche alternativen Behandlungen abbilden können. Gleichzeitig sollten die aufgetretenen Abweichungen im Wachstum zwischen Realität und Simulator überprüft werden.

Ein weiteres noch großes Forschungsfeld ist der Bereich der Überlebenswahrscheinlichkeiten. Hierbei ist besonders die Datengrundlage bei den Baumarten neben der Fichte recht dünn. Es wäre wünschenswert, wenn die Datenbasis der anderen Baumarten erweitert würde, um so das natürliche Risiko besser quantifizieren zu können. Zudem hängen die bisher verfügbaren Überlebenswahrscheinlichkeiten nur vom Alter ab. Hier muss es das Ziel sein, weitere Faktoren, welche die Stabilität beeinflussen mit einfließen zu lassen (z.B. Durchforstung, Standort oder Stabilitätskennwerte der Einzelbäume). Im Rahmen der Klimawandeldiskussion wäre es daneben sehr interessant, wenn die Überlebenswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Klimaszenarien abgeleitet werden könnten. So wäre es möglich, z.B. die finanziellen Konsequenzen und die Auswirkungen auf die verschiedenen Baumarten besser zu quantifizieren. Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang des Klimawandels, der zukünftig neben einem ansteigenden Risiko auch noch berücksichtigt werden müsste, sind die Auswirkungen auf den Zuwachs der

einzelnen Baumarten. Nach Integration dieser beiden Faktoren könnten dem Waldbesitzer auch objektive und quantitative Empfehlungen gegeben werden.

6.5.2.2 Erweiterung des Portfolioansatzes

Die in dieser Studie ermittelten optimalen Portfolios würden zu einer deutlichen Verschiebung der anfallenden Holzsortimente führen. Dabei wird wie in allen anderen forstlichen Portfoliobetrachtungen unterstellt, dass dies keinen Einfluss auf die gezahlten Preise hat, wobei in der Realität natürlich Rückkopplungen zwischen Menge und Preis zu erwarten sind. Ein Ansatz dieses Problem zu lösen, wäre aus den Daten der Holzpreisstatistik Preis-Absatz-Kurven abzuleiten und in der Bewertung bzw. Optimierung zu berücksichtigen. Ein solches Vorgehen hätte sicherlich große Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Portfolios. Besonders die hohen Anteile von wertholzliefernden Beständen an den optimalen Portfolios wären somit eher nicht zu erwarten, nachdem heute das Wertholz nur einen geringen Anteil am gesamten Einschlag ausmacht. Darüber hinaus wäre das komplette Herausfallen einzelner Baumarten aus den Portfolios sehr unwahrscheinlich. Gleichzeitig stellt sich aber auch hier die Frage, wie sich derartige Zusammenhänge in Zukunft entwickeln werden. Mögliche Erweiterungen wären zudem die verstärkte Bewertung von Zukunftsoptionen bei der Bewirtschaftung von Mischwäldern oder die Erweiterung der Szenarioanalyse weg von der Optimierung von Portfolios für einzelne Szenarien hin zur Optimierung eines Portfolios für möglichst viele Szenarien, im Sinne einer Maximierung der Robustheit.

Als Alternative zur hier gewählten Betrachtung einer Umtriebszeit bei jeder Baumart könnte man auch einen gemeinsamen Zeitraum von z.B. 500 Jahren betrachten, womit die Betrachtungszeiträume nicht so auseinander klaffen würden wie bei den konventionell behandelten Beständen. Diese starke zeitliche Streuung der Zahlungen, besonders gegenüber der Eiche, führt zu sehr geringen Korrelationen mit dieser Baumart. Würde man einen längeren Zeitraum betrachten, wären die Überlappungen größer und auch in Realität würden z.B. nachfolgende Fichtengenerationen Holz in einem Zeitraum liefern, in dem größere Eichenholzmengen anfallen. Nachdem bei den „optimierten“ Beständen die Zeiträume nicht so weit auseinander klaffen, trifft dieser Aspekt dort weniger zu.

Im Bereich der Anwendung der Portfoliotheorie wäre zukünftig die Ausweitung auf zusätzliche Baumarten erstrebenswert. So sollte beispielsweise die Douglasie integriert werden, der in der Klimawandelsdiskussion eine große Rolle zukommt. Vor dem Hintergrund einer verstärkten energetischen Nutzung muss auch eine Beteiligung der hierbei überragenden Pappel geprüft werden. Daneben wäre die synchrone Optimierung von Einzelbeständen und Portfolios ein interessanter Forschungsansatz. Genauso ist die Einbeziehung von Naturverjüngungsmöglichkeiten und die daraus entstehenden Effekte auf die optimalen Portfolios ein noch wenig analysierter Aspekt. Die Integration von Baumarteninteraktionen ist ebenso verstärkt zu verfolgen, wie von KNOKE und SEIFERT (2008) für Buche und Fichte präsentiert, um die Effekte kleinflächiger Mischung mit entsprechender Baumarteninteraktion und damit die Auswirkungen von „tatsächlichen“ Mischwäldern quantifizieren zu können. Hiermit könnte endgültig die Mischwaldidee von KARL GAYER und das finanzielle Effizienzdenken beispielsweise eines MAX PRESSLERS auf Grundlage der Portfoliotheorie von HARRY MARKOWITZ kombiniert werden.

Ein wesentliches Ziel muss es auch sein, diese Theorie in die Praxis zu tragen und an realen Forstbetrieben mit realen Restriktionen zu zeigen, welche Möglichkeiten die finanziell optimierte Baumartenwahl bietet.

6.5.3 Schlussfolgerungen für die Praxis

6.5.3.1 Finanziell optimiertes Bestockungsziel

Bisher richtet sich die Baumartenwahl in der Praxis hauptsächlich nach ökologischen Erkenntnissen der Standortserkundung und nach dem „Bauchgefühl“ der Förster. Somit ergeben sich die anzustrebenden Bestockungsziele aus der Standortsverteilung. Die hier vorgestellte Methodik bietet eine Möglichkeit, die Baumartenwahl quantitativ nach finanziellen Kennzahlen zu optimieren und nicht nur ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Hiernach würde zunächst kalkuliert, welche Baumartenanteile finanziell vorteilhaft wären. Danach könnte anhand der Ergebnisse der Standortserkundung festgelegt werden, wo welcher Portfoliobestandteil am besten zu platzieren wäre. Bei der finanziellen Optimierung können die Ausgangssituation des Forstbetriebes und die damit bestehenden Naturverjüngungsmöglichkeiten und Restriktionen genauso beachtet werden, wie ein gewolltes Hinzufügen weiterer Baumarten. Daneben kann so auch geklärt werden, ob auf (Teil-) Flächen geastet werden sollte und wenn ja, wie groß diese sein sollten. Somit kann für jeden Forstbetrieb ein maßgeschneidertes Baumartenportfolio nach finanziellen Maßstäben erstellt werden.

Dies soll an einem kleinen Beispiel dargestellt werden. Der Beispielbetrieb soll über 20 % Kiefernzwangsstandorte verfügen, auf weiteren 20 % aus Stabilitätsgründen auf Fichtenastung verzichten und auf 30 % der Fläche die Möglichkeit der Buchennaturverjüngung haben. Weiter werden spezifische Ausgaben (z.B. Kulturkosten), die jeweilige Verzinsungsforderung, das regionale Baumwachstum und die Erwartungen zur Entwicklung des Holzmarktes berücksichtigt. Beispielsweise wird für Laubholz verstärkte energetische Nutzung unterstellt, während beim Nadelholz auch zukünftig für die stoffliche Verwertung produziert wird. Im Beispiel werden deshalb Laubholzdaten des Preismodells „Brennholz“ und Nadelholzdaten des Preismodells „Historisch“ für eine Verzinsungsforderung von 2 % verwendet und daraus das nach dem VaR optimale Portfolio bestimmt. Dieses würde sich aus 30 % geasteten und 42 % ungeasteten Fichtenbeständen und weiteren 20 % ungeasteten Kiefernbeständen zusammensetzen. Die Buchennaturverjüngung sollte auf 8 % der Fläche genutzt werden.

Dabei kann diese Optimierung, wie im Beispiel, als strategisches Ziel ermittelt werden oder in einem Betriebsoptimierer operativ eingesetzt werden, in dem optimiert wird, wann welcher bestehende Bestand eingeschlagen wird und durch welchen Bestand er ersetzt werden sollte. So erhält man auch eine zeitlich und räumlich optimierte Umbauplanung hin zu einem vorteilhaften Baumartenportfolio.

6.5.3.2 Waldbauliche Schlussfolgerungen

Für die einzelnen Bestände zeigte sich, dass unter finanziellen Aspekten die heutigen Umtriebszeiten zu lang sind und die Kulturkosten reduziert werden können und müssen. Besonders beim Laubholz ist bezüglich der Kulturkosten noch großes Einsparpotenzial vorhanden.

Gerade beim vielfach erwünschten Laubholz sind dringend Maßnahmen erforderlich, um seine finanzielle Attraktivität zu erhöhen. Dazu müssen die bisherigen Bewirtschaftungskonzepte überdacht werden und neue Konzepte, vielleicht auch differenziert nach zu erwartendem bzw. erwünschtem Zielsortiment entwickelt werden. Nur so können finanziell attraktive Alternativen zur Fichte angeboten werden. Aber auch beim Nadelholz ist finanzielles Optimierungspotenzial vorhanden.

Aus der Szenarioanalyse ergeben sich zudem zwei wesentliche, praxisrelevante Trends. Vor dem Hintergrund steigender Risiken, z.B. aufgrund des Klimawandels, empfahl sich besonders ein Verzicht auf bzw. eine Reduktion von besonders ausgabenintensiven Beständen. Dies betraf sowohl Bestände mit überdurchschnittlichen Kulturkosten, als auch Bestände mit zusätzlichen Ausgaben für die Astung. Als zweites leitet sich aus der Analyse der Konsequenzen einer verstärkten energetischen Nutzung von Holz ab, dass die Attraktivität der Produktion von Wertholz vor diesem Hintergrund abnimmt. Somit muss die Wertholzproduktion gründlich bedacht werden und sollte schwerpunktmäßig auf den besten Standorten, bei geringen zu erwartenden Risiken und überschaubaren Umtriebszeiten erfolgen.

Neben einer gesteigerten finanziellen Effizienz kann durch abgesenkte Umtriebszeiten auch das Risiko von Kalamitäten deutlich gesenkt werden (z.B. BEINHOFER, 2007a; BEINHOFER und KNOKE, 2007a). Dies ist gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels mit noch steigenden Kalamitätsgefahren angeraten. Kurze Umtriebszeiten bieten zudem den Vorteil, dass ein eventuell notwendig werdender Bestockungswechsel schneller erfolgen kann. Dadurch verschafft man sich eine größere Flexibilität unter sich in eine unbekanntere Richtung verändernden Bedingungen. Durch eine entsprechende Absenkung der Umtriebszeit können auch große im Wald gebundene und sich schlecht verzinsende Geldbeträge freigesetzt werden. Diese Geldmittel könnten einen sich deutlich besser verzinsenden finanziellen Reservetopf speisen, aus dem beispielsweise Aufwendungen im Rahmen des Klimawandels abgedeckt werden könnten. Daneben könnte das freiwerdende Kapital zur Diversifizierung der betrieblichen Tätigkeiten verwendet werden, so dass der Forstbetrieb von den Schwankungen des Holzmarktes unabhängiger wird und seinen Einschlag flexibler am Holzmarkt ausrichten kann, da Fixkosten auch durch andere Einnahmen gedeckt werden können.

7 Zusammenfassung

Schon vor über 100 Jahren postulierte KARL GAYER die Vorteile eines Mischwaldes. Seither wurden allerdings die finanziellen Effekte von gemischten Wäldern nur ansatzweise quantifiziert. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Studie, die finanziellen Effekte eines solchen „gemischten Warenkorb“ mit Hilfe der Portfoliotheorie von HARRY MARKOWITZ zu quantifizieren. Neben der Baumartendiversifikation werden auch Effekte durch Produktion unterschiedlicher Holzsortimente berücksichtigt. Dazu werden für die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche jeweils die Sortimente Wert-, Säge- und Industrielholz unterschieden. Einen Schwerpunkt der vorliegenden Studie bildet dabei der Transfer von verschiedenen finanziellen Risikokennzahlen bzw. Optimierungsansätzen auf Probleme der Forstwissenschaft. Bisher gibt es eine Reihe von Studien zu den Effekten von Wald als Beimischung in größeren Finanzportfolios. Daneben wurde die Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft in einigen Untersuchungen, oftmals aus Deutschland, zur Bewertung der Baumartendiversifikation angewendet. Zur Sortimentsdiversifikation, die in der vorliegenden Arbeit besonders berücksichtigt wird, gibt es erst wenige Studien, zudem mit widersprüchlichen Ergebnissen.

Um diese Widersprüche aufzuklären und die möglichen Effekte durch Sortimentsdiversifikation unter mitteleuropäischen Verhältnissen abzuschätzen, wurden Diversifikationseffekte nicht nur an Mischungen aus konventionell erzogenen, sondern auch an „optimierten“ Beständen untersucht. In diesen auch nach finanziellen Kriterien optimierten Beständen sollte möglichst nur ein Sortiment anfallen oder zumindest die Wertleistung dominieren. Die Analyse von Mischungseffekten wurde in dieser Untersuchung zunächst im Rahmen einer Methodenstudie mit der Anwendung unterschiedlicher Risikokennzahlen zur Portfoliooptimierung durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Szenarioanalyse zur Überprüfung der Auswirkungen von in der Zukunft möglichen Veränderungen der Rahmenbedingungen auf Einzelbestände und Portfolios. Allerdings wurden in der vorliegenden Studie vereinfachend nur bestandesweise Mischungen betrachtet, so dass mögliche Effekte einer Baumarteninteraktion bei kleinflächiger Mischung nicht berücksichtigt wurden.

Datengrundlage

Die Entwicklung der konventionell erzogenen Bestände wurde mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA nachgebildet. Als Erziehungskonzepte wurden für das Nadelholz Z-Baumdurchforstungen, für Buche eine Hochdurchforstung und für Eiche ein traditionelles Vorgehen zur Produktion von Furniereichen unterstellt. Zudem wurde bei den Nadelholzbeständen zwischen geasteten und ungeasteten Beständen unterschieden, um die Sortimentsdiversifikation durch die zusätzliche Produktion von Wertholz mit zu integrieren. Die für diese Bestände veranschlagten Ausgaben, die unterstellte Holzsortierung und die Umtriebszeiten richteten sich nach dem praxisüblichen Vorgehen.

Die „optimierten“ Bestände zur Wertholzproduktion zeichneten sich durch eine weitständige Bestandesbegründung und Erziehung mit dem Ziel eines maximalen Durchmesserzuwachses der ausgewählten Bäume aus. Die Wertholzproduktion wurde in diesen Beständen, auch beim Laubholz, durch Astung ermöglicht. Daneben wurde die Umtriebszeit genauso finanziell op-

timiert wie für die Bestände zur Sägeholzproduktion. In den Nadelholzbeständen zur Sägeholzproduktion erfolgte zudem ein Variantenstudium zur Auswahl der vorteilhaften Durchforstungsart, wohingegen bei den Laubholzbeständen Einsparmöglichkeiten in den Kulturen genutzt wurden. Eine mögliche Verschlechterung der Holzqualität wurde dabei in die Betrachtung integriert. Die Bestände zur Industrieholzproduktion basieren auf der Annahme einer weitständigen Begründung, frühzeitiger Ernte und Durchforstungen oder Pflegemaßnahmen wurden nicht vorgesehen. Die zu den „optimierten“ Beständen passenden Ausgaben und Holzsortierungen wurden anhand von Literaturangaben hergeleitet. Allerdings ist die ertragskundliche Datengrundlage der „optimierten“ Bestände sehr heterogen, was in Kauf genommen wurde, um diese alternativen, heute nicht üblichen Bestandesbehandlungen überhaupt berücksichtigen zu können.

Die Bewertung der Bestände erfolgte im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation. Holzpreisschwankungen und kalamitätsbedingte Bestandesausfälle wurden hierbei berücksichtigt, so dass sich aus 10.000 Wiederholungen eine Ergebnisverteilung ergab. Die Holzpreissimulation in der Monte-Carlo-Simulation erfolgte über Bootstrapping²¹, da so die tatsächlichen Verteilungen der Holzpreise und ihre Korrelationen erhalten blieben. Die Gefahr von Bestandesausfällen wurde über altersabhängige Überlebenswahrscheinlichkeiten integriert. Für die unterschiedlichen Bestände wurde als Ergebnis jeder einzelnen Wiederholung der Monte-Carlo-Simulation jeweils eine Annuität als finanzielle Kennzahl ermittelt. Die sich so je Bestand in der Monte-Carlo-Simulation ergebenden 10.000 Annuitäten wurden anschließend direkt in der Portfoliooptimierung verwendet, oder es wurden daraus die für den klassischen Ansatz nötigen Kennzahlen wie Mittelwert, Standardabweichung und Korrelationen abgeleitet. Das Ergebnis der Optimierung der Portfolios anhand finanzieller Risikokennzahlen waren dann vorteilhafte Anteile der einzelnen Bestände.

Methodenstudie

Aufgrund des methodischen Schwerpunkts dieser Studie wurden die vorteilhaften Portfolios nicht nur mit dem klassischen Portfolioansatz von MARKOWITZ über die Standardabweichung oder eine Risikonutzenfunktion bestimmt. Zusätzlich erfolgte die Portfoliooptimierung ohne Normalverteilungsannahme direkt mit den in der Monte-Carlo-Simulation ermittelten Ergebnisverteilungen über verschiedene Downside-Risikomaße. Dabei handelte es sich um die quantilbasierten Risikokennzahlen „Value at Risk“ und „Expected Shortfall“ sowie um die „Lower Partial Moments“ nullter, erster und zweiter Ordnung. In der Methodenstudie wurden in der Monte-Carlo-Simulation die bayerischen Holzpreise der Jahre 1972-2004, ein Kalamitätsrisikomodel, das sich auf die Beobachtungen der Vergangenheit stützt sowie ein Zinssatz von 2 % berücksichtigt.

Es zeigte sich, dass die nach der Standardabweichung vorteilhaften Portfolios sowohl hinsichtlich der Zusammensetzung (kaum Fichte, hauptsächlich Kiefer und Eiche), als auch bezüglich der Annuität immer sehr deutlich von den nach anderen Risikomeßzahlen optimierten und im Folgenden ausschließlich beschriebenen Mischungen, abwichen. Die übrigen vorteilhaften Portfolios aus konventionell behandelten Beständen enthielten stets nur Fichtenbestän-

²¹ Beim Bootstrapping werden aus der Datengrundlage Stichproben mit Zurücklegen gezogen. Die Ziehung erfolgt mit gleicher Wahrscheinlichkeit und wird so oft wie nötig wiederholt (z.B. DOWD, 1998).

de und zeigten weniger als 1 €/ha*a voneinander abweichende Annuitäten. Dennoch unterschieden sich die Anteile der geasteten bzw. ungeasteten Fichtenbestände zwischen den einzelnen Portfolios um fast 15 Prozentpunkte. Die vorteilhaften Portfolios aus finanziell „optimierten“ Beständen wichen dagegen in der Zusammensetzung deutlich und auch in der Annuität um bis zu 60 €/ha*a voneinander ab. Hier war neben den Fichtenbeständen oftmals der Eichenbestand zur Wertholzproduktion an den optimalen Mischungen beteiligt.

Nach diesen Ergebnissen zeigt sich das Problem, dass die einzelnen Risikomaße, mit Einschränkungen bei einigen Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen, zu sehr unterschiedlichen Empfehlungen führen. Aus methodischer Sicht stellte sich auch heraus, dass es kein perfektes Risikomaß gibt und alle analysierten finanziellen Risikokennzahlen auch Schwachstellen aufweisen. Dennoch empfehlen sich besonders die Lower Partial Moments nullter und zweiter Ordnung (Verlustwahrscheinlichkeit und Downside-Varianz) zur Bestimmung vorteilhafter Portfolios.

Szenarioanalyse

Nachdem in der Methodenstudie Datenmaterial der Vergangenheit der Bewertung und Portfoliooptimierung zugrunde lag, wurden in der Szenarioanalyse nacheinander die Holzpreise, das Kalamitätsrisiko und der Zinssatz verändert. Dabei wurde untersucht, wie sich die Kennzahlen der einzelnen Bestände und ihre Anteile an den optimalen Portfolios unter geänderten Rahmenbedingungen entwickeln.

In den Holzpreisszenarien wurden die Auswirkungen einer verstärkten energetischen Nutzung von Holz untersucht. Im ersten Holzpreismodell wurden das schwache Sägeholz ab einer baumartspezifischen Schwelle und das Industrieholz zu einem Brennholzsortiment zusammengefasst und zu einem deutlich höheren Preis verkauft als das vormalige Industrieholz. Die übrigen Säge- und Wertholzpreise veränderten sich nicht gegenüber der in der Methodenstudie verwendeten Datengrundlage. In einem zweiten Holzpreismodell erfolgte die Holzpreisbildung anhand eines ölpreisabhängigen Energiepreises und dem Energiegehalt des Holzes. Dabei spielte die Holzqualität keine Rolle mehr und die Stärkeklasse wirkte sich nur noch über die Holzerntekosten aus.

Diese alternativen Preismodelle führten zu steigenden Annuitäten und zumeist auch zu einem sinkenden finanziellen Risiko. Unter den vier Baumarten profitierte die Buche besonders von der verstärkten energetischen Nutzung. Dennoch wurden die Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen auch weiterhin von Fichte beherrscht, während in den Portfolios aus „optimierten“ Beständen auch teilweise Buche und Kiefer deutliche Anteile einnahmen. Insgesamt zeigte sich, dass die wertholzliefernden Bestände, im Vergleich zu Beständen gleicher Baumart ohne Wertholz, sowohl als Einzelbestand, als auch bezüglich ihrer Anteile an den vorteilhaften Portfolios deutlich verlieren. Eine verstärkte energetische Nutzung von Holz führt somit weg von Wertholzproduktion.

In einem weiteren Szenario wurde das Kalamitätsrisiko deutlich erhöht, wobei der Anstieg bei der Fichte überproportional stark ausfiel. Gleichzeitig wurde in diesem Szenario von einem hohen Ausfallrisiko für die Kulturen ausgegangen. Dies führte bei allen Beständen und den Portfolios zu einer Reduktion der Annuität, wobei gleichzeitig die Risikokennzahlen eine Erhöhung des finanziellen Risikos anzeigten. In den vorteilhaften Portfolios aus konventionell

behandelten Beständen reduzierte sich zumeist der Anteil des geasteten Fichtenbestandes zugunsten des ungeasteten. Daneben traten teilweise auch Kiefernbestände zum optimalen Portfolio hinzu. Für die vorteilhaften Mischungen aus finanziell „optimierten“ Beständen verringerten sich besonders die Anteile der Fichtenbestände zur Sägeholzproduktion und der Eichenbestände zur Wertholzerziehung, wofür teilweise Buchen- und Kiefernbestände erhebliche Anteile einnahmen. Der Haupttrend in diesem Szenario war eine Abkehr von Beständen mit hohen Ausgaben, z.B. für die Kulturbegründung oder die Astung. Zudem waren für ein höheres Kalamitätsrisiko oftmals mehr Bestände an den Portfolios beteiligt.

Im dritten Szenario wurde der Zinssatz von 1 % bis 5 % variiert. Dabei zeigten sich parallel zum steigenden Zinssatz sinkende Annuitäten und ein zumeist höheres finanzielles Risiko. Die vorteilhaften Portfolios aus konventionell erzeugten Beständen bestanden stets nur aus Fichtenbeständen, wobei sich der Anteil des geasteten Bestandes mit steigendem Zinssatz reduzierte. Dagegen waren an den vorteilhaften Portfolios aus den finanziell „optimierten“ Beständen teilweise zusätzlich Kiefern- und Buchenbestände beteiligt und der Anteil des Fichtenbestandes zur Industrieholzproduktion nahm besonders bei steigenden Zinssätzen zu. Als Erfolg der finanziellen Optimierung der Einzelbestände konnten auch für einen Zinssatz von 5 %, im Gegensatz zu den konventionell behandelten Beständen, noch vorteilhafte Portfolios mit positiven Annuitäten gebildet werden.

Schlussfolgerungen

Abschließend ist festzustellen, dass durch die Mischung von unterschiedlich erzeugten Beständen und damit der Produktion verschiedener Baumarten und Sortimente deutliche Diversifikationseffekte auftreten. Bei Mischung der „optimierten“ Bestände konnten wesentlich größere Mischungseffekte festgestellt werden. Somit war die Optimierung dieser Bestände nicht nur nach finanziellen Kriterien erfolgreich, sondern auch bezüglich der zu beobachtenden positiven Effekte bei der Portfoliobildung. Dennoch ist es wünschenswert, die Datengrundlage für diese unkonventionell erzeugten Bestände noch deutlich zu verbessern, damit die festgestellten Effekte abgesichert werden können. Diese alternativen Konzepte stellen eine Möglichkeit dar, die finanzielle Attraktivität besonders des vielfach erwünschten Laubholzes zu erhöhen. Auf einer solideren Datengrundlage könnten aus den in dieser Arbeit aufgezeigten Ansätzen neue Erziehungskonzepte, vielleicht auch differenziert nach zu erwartendem bzw. erwünschtem Zielsortiment abgeleitet werden.

Der in dieser Arbeit präsentierte Portfolioansatz stellt zudem eine Möglichkeit dar, die anzustrebenden Baumartenanteile sowie den etwaigen Umfang von Astungsmaßnahmen nach finanziellen Kennzahlen und damit quantitativ zu optimieren. Unter Einbeziehung der jeweiligen Rahmenbedingungen und Restriktionen wäre es so möglich, ein für einen Forstbetrieb maßgeschneidertes Baumarten bzw. Bestandesportfolio herzuleiten. Zusammenfassend ist die Portfoliotheorie von HARRY MARKOWITZ die passende Methode, um die finanziellen Vorteile der Ideen von KARL GAYER zu quantifizieren, wobei für die Betrachtung kleinflächiger Mischungen zusätzlich noch die Baumarteninteraktionen integriert werden müssen.

8 Abstract

More than 100 years ago KARL GAYER postulated the advantages of mixed forests. Since then, the financial effects of mixed forests have only been rudimentally quantified. Thus it is the aim of this investigation to quantify the financial effects of such a “mixed basket of goods” using the portfolio theory of HARRY MARKOWITZ. Besides tree species diversification, the effects from producing different assortments are analysed. This study distinguishes saw timber, pulpwood and high value assortments from Norway spruce, Scots pine, Beech and Oak. An important focus of this study is the transfer of different financial risk measures and optimization approaches into forest science. So far, many studies have analysed the effects of forests as a part of a larger portfolio, and additionally, this theory was used several times, especially in Germany, to evaluate financial effects of mixtures of tree species. The diversification of assortments, however, which is considered in this study, has only been dealt with in a few investigations that furthermore came to contradictory results.

Here, the diversification effects were analyzed in portfolios consisting of conventionally treated stands and optimized stands. This was done to clarify the existing discrepancies and to estimate the effects of diversifying the produced assortments under German conditions. In addition, within these also financially optimized stands, only one assortment should be harvested or at least should dominate the earnings. In a first step the diversification effects were quantified in a methodical study using different risk measures to optimize the portfolios. Secondly, the consequences of possible future changes of the basic conditions on single stands and portfolios were checked in a scenario analysis. However, for simplification only mixtures of pure stands of different tree species were analysed.

Data basis

The development of the conventionally treated stands was simulated using the forest growth simulator SILVA. For the coniferous trees a final crop tree thinning, for beech a thinning from above and for oak a treatment to attain veneer timber were applied. In addition, pruned and non-pruned coniferous stands were distinguished from each other. The necessary expenditures for these stands, the grading of wood and the rotations were adapted to the usual procedure.

The optimized stands to produce high value assortments were established and raised with relatively few trees to attain a maximum diameter growth of the selected trees, which were all pruned. The rotation was financially optimized as well as for the stands to produce saw timber. Type of thinning was also financially optimized in the coniferous stands producing saw timber, while in these stands with hardwood trees possible savings in the stand establishment were used for optimization. Thereby a worse timber quality of the hardwood trees was accepted. The pulpwood production stands were of roomy establishment and harvested very early with no thinnings. The fitting expenditures in the optimized stands and the grading of wood were deduced from literature. Indeed, the growth data of the optimized stands was very heterogeneous, as it came from different sources. This was accepted in order to consider these unusual but interesting treatments.

The assessment of the stands was done within a Monte-Carlo-Simulation with 10,000 repetitions, incorporating the risk of timber price fluctuations and of natural hazards. Timber price

simulation was done by bootstrapping²², so that the real distribution of the timber prices and their correlations were kept. The risk of damages caused by natural hazards was integrated with age dependant survival probabilities. For all the different stands, an annuity was calculated in every repetition of the Monte-Carlo-Simulation. The calculated 10,000 annuities of every stand were directly used in the portfolio optimization afterwards or the necessary figures for the classical approach like mean, standard deviation or correlation were deduced. The result of the portfolio optimization with different risk measures were advantageous shares of the different stands.

Methodical study

Due to the methodical focus of this study the advantageous portfolios were not only determined with the classical MARKOWITZ portfolio approach, using the standard deviation or a utility function, but also with several downside-risk measures using the whole dispersion of results from the Monte-Carlo-Simulation. As downside-risk measures the “value at risk” and the “expected shortfall”, as well as the “lower partial moments” of zero, first and second order were considered. In this methodical study, the Bavarian timber prices from 1974-2004, survival probabilities of the stands based on observations of the past and an interest rate of 2 % were included.

The advantageous portfolios using the standard deviation differed a lot concerning the annuity and the composition (nearly no spruce, mainly pine and oak) from all other portfolios optimized with other risk measures, which were explicitly looked at in the following. The other optimal portfolios containing conventionally treated stands always consisted of spruce stands and showed annuities differing only by less than 1 €/ha*a. The share of pruned or non-pruned spruce stands varied nearly by 15 %. In contrast, the advantageous portfolios out of financially optimised stands had very different compositions and the annuities differed a lot, by up to 60 €/ha*a. Beside spruce stands, often oak stands for high value assortments production were part of the optimized mixtures.

With these results the problem arises that the different risk measures mostly lead to quite different recommendations. From the methodological point of view, it can be said that there is no perfect risk measure and all analysed risk measures also have weak points. Nevertheless, especially the lower partial moments of zero and second order (probability of losses and downside-variance) can be recommended for portfolio optimization.

Scenario analysis

In the methodical study data from the past was used for appraising and for the portfolio optimisation. In the scenario analysis the timber prices, the risk of natural hazards and the interest rate were changed consecutively. Thereby it was evaluated how the key figures of the single stands and their shares in the optimal portfolios developed under changing conditions.

In the timber price scenarios the consequences of a rising energy recovery of timber were studied. In the first timber price model, thin saw timber below a specific threshold, depending on the tree species, and the pulpwood were summed and sold at a higher price. The prices of

²² Using bootstrapping, samples are drawn with putting back out of a data base. The drawing is done with the same probability and is repeated as often as necessary (z.B. DOWD, 1998).

saw timber and high value assortments didn't change compared to the data used in the methodical study. In the second timber price model the appraisal of timber depended on an oil price related energy price and the energy content of timber. Thereby the timber quality doesn't play any role and the size affected only the logging costs.

These alternative price models led to rising annuities and mostly to a declining financial risk. Within these four tree species, the beech especially benefited from a rising energy recovery. Nevertheless the portfolios consisting of conventionally treated stands were dominated by spruce, while in the portfolios made up of optimised stands, beech and pine had considerable shares. Altogether the stands delivering high value assortments, compared to stands of the same species without high value assortments, lost as single stands but also concerning their shares in the advantageous portfolios. A rising energy recovery of timber guided away from the production of high value assortments.

In a further scenario the risk of natural hazards was considerably raised, where the increase was especially strong for spruce. Simultaneously the risk of failure for the regeneration was very high. For all stands and portfolios this led to a reduction of the annuities and the financial risk measures showed an increasing financial danger. In the advantageous portfolios, out of conventionally managed stands, mostly the share of the pruned spruce stand was reduced in favour of the non-pruned spruce stand. In addition, sometimes pine stands were added to the optimal portfolio. In the advantageous mixtures formed out of financially optimised stands, the shares of the spruce stands for saw timber production and the oak stands for the production of high value assortments decreased. Therefore sometimes beech and pine stands captured important shares. The main trend in this scenario was a turning away from stands with high expenditures, for example for stand establishment or pruning. Furthermore often more stands were part of advantageous portfolios.

In a third scenario the interest rate was varied from 1 % to 5 %. In doing so the annuities declined with rising interest rate and mostly a higher financial risk was discovered. The advantageous portfolios formed out of conventionally managed stands contained only spruce stands, whereas the share of the pruned spruce stands was reduced with rising interest rate. In contrast, partially the optimal mixtures made out of optimized stands also included pine and beech stands. In addition the spruce stand for pulpwood production especially benefited from raising interest rates. As a result of the financial optimization of the single stands, the optimal portfolios for an interest rate of 5 % still had positive annuities.

Conclusions

In conclusion it was determined that by mixing differently raised stands and the production of different tree species and assortments, considerable diversification effects result. By mixing optimized stands, substantially higher effects can be observed. Thus the optimization of these stands was successful from the financial point of view and concerning the positive effects of mixtures. Nevertheless it would be desirable to improve the data base of these unconventionally managed stands, so that the assessed effects could be assured. These alternative concepts are one possibility to raise the financial attractiveness especially of the often demanded deciduous trees. With a sounder data base the approaches shown in this study could be devel-

oped to new silvicultural concepts, perhaps distinguished after the expected or desired assortments.

The presented portfolio approach is one possibility to determine the advantageous shares of different tree species as well as the extent of pruning stands quantitatively. Including the particular basic conditions and restrictions it would be possible to derive a customized tree species or stand portfolio for a forest enterprise. In summary, the portfolio theory by HARRY MARKOWITZ is the fitting method to quantify the financial advantages of the ideas of KARL GAYER. Nevertheless for the examination of small scale mixtures the effects of tree species interactions have to be added.

9 Literaturverzeichnis

- Abetz, P. (1972): Zur waldbaulichen Behandlung der Kiefer in der nordbadischen Rheinebene. *AFZ* 27: 591-594.
- Abetz, P., Lässig, R. (1989): Erfreuliches Echo auf das "Solitärprogramm 1987". *AFZ* 44 (27): 714-716.
- Adomat, R. (1965): Betriebswirtschaftliche Untersuchungen über die Holzarten Fichte, Forle, Buche und Eiche im bad.-württ. Staatswald. *Der Forst- und Holzwirt* 20 (16): 1-5.
- Albrecht, P. (2001): Portfolioselktion mit Shortfallrisikomaßen. Mannheimer Manuskripte zu Risikotheorie, Portfolio Management und Versicherungswirtschaft Nr. 133. Unter: http://madoc.bib.uni-mannheim.de/madoc/frontdoor.php?source_opus=231; Zugriff: Juni 2008.
- Ammer, C., Albrecht, L., Borchert, H., Brosinger, F., Dittmar, C., Elling, W., Ewald, J., Felbermeier, B., Gilsa, H. von, Huss, J., Kenk, G., Kölling, C., Kohnle, U., Meyer, P., Moosandl, R., Moosmayer, H.-U., Palmer, S., Reif, A., Rehfuess, K.-E., Stimm, B. (2005): Zur Zukunft der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Mitteleuropa: Kritische Anmerkungen zu einem Beitrag von Rennenberg et al. (2004). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 176 (4): 60-66.
- Anonymus (2006): Stark gestiegene Holznutzung setzt Industrie unter Druck. *Holz-Zentralblatt* 132 (43): 1244-1245.
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-M., Heath, D. (1999): Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance* 9 (3): 203-228.
- Assmann, E., Franz, F. (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Auflage 1990: 52-87.
- Atwood, J.A. (1985): Demonstration of the Use of Lower Partial Moments to Improve Safety-First Probability Limits. *American Journal of Agricultural Economics* 67 (4): 787-793.
- Atwood, J.A., Watts, M.J., Helmers, G.A. (1988): Chance-Constrained Financing as a Response to Financial Risk. *American Journal of Agricultural Economics* 70 (1): 79-89.
- Bamberg, G., Coenenberg, A.D. (2006): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. Reihe Betriebswirtschaft. 13. Auflage. München.
- Barreto, H., Howland, F.M. (2006): *Introductory Econometrics: Using Monte Carlo Simulation with Microsoft Excel*. 1. Auflage. New York.
- Baudin, A., Lundberg, L. (1987): A World Model of the Demand for Paper and Paperboard. *Forest Science* 33 (1): 185-196.
- Bawa, V.S. (1975): Optimal Rules for Ordering Uncertain Prospects. *Journal of Financial Economics* 2 (1): 95-121.
- Bawa, V.S. (1978): Safety-First, Stochastic Dominance, and Optimal Portfolio Choice. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 13 (2): 255-271.
- Bawa, V.S., Lindenberg, E.B. (1977): Capital Market Equilibrium in a Mean-Lower Partial Moment Framework. *Journal of Financial Economics* 5 (2): 189-200.
- Bayerische Staatsforsten (2008): *Nachhaltigkeitsbericht 2008*. Regensburg.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1972-2004): *Holzpreisstatistik für das Kalenderjahr..., für die Jahre 1972-2004*. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1982): *Richtlinien für die mittel- und langfristige Forstbetriebsplanung in der Bayerischen Staatsforstverwaltung (Forsteinrichtungsrichtlinien)-FER 1982*. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1993): *Grundsätze zur waldbaulichen Behandlung der Fichte im bayerischen Staatswald*. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1995): *Pflegegrundsätze für die Kiefer*. München.

- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1999): Richtlinie zur Wertastung und zur Pflege von Astungsbeständen. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2000): Pflege und Verjüngung der Buche. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2004): Bayerische Staatsforstverwaltung-Jahresbericht 2004, Statistikband. München.
- Beinhofer, B. (2006): Produktdiversifikation durch Astung: Ein Weg zur Optimierung der Fichtenwirtschaft? Unveröffentlichte Diplomarbeit. Freising.
- Beinhofer, B. (2007a): Angebotspreise für Fichtenstarkholz. *AFZ-DerWald* 62 (10): 538-540.
- Beinhofer, B. (2007b): Zum Einfluss von Risiko auf den optimalen Zieldurchmesser der Fichte. *Forstarchiv* 78 (4): 117-124.
- Beinhofer, B. (2007c): Finanzielle Bewertung waldbaulicher Behandlungsvarianten im Mittelwald. Abschlussbericht des Projekts ST 188b. Freising.
- Beinhofer, B. (2008a): Umtriebszeit, Durchforstung und Astung der Kiefer aus finanzieller Perspektive. *Forstarchiv* 79 (3): 106-115.
- Beinhofer, B. (2008b): Zum optimalen Einschlagszeitpunkt von Fichtenbeständen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 179 (7): 121-132.
- Beinhofer, B. (2008c): Comparing financial performance of traditionally managed beech and oak stands with roomy established and pruned stands. *European Journal of Forest Research*, eingereicht.
- Beinhofer, B. (2009a): Weitständig erzogene Nadelholzbestände - eine lukrative Alternative? *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 180 (3/4): 65-75.
- Beinhofer, B. (2009b): Producing softwood of different quality-does this provide risk compensation? *European Journal of Forest Research*, online verfügbar seit 6. Mai 2009, DOI 10.1007/s10342-009-0279-1.
- Beinhofer, B., Knoke, T. (2007a): Umtriebszeit und Risiko der Fichte. *AFZ-DerWald* 62 (3): 110-113.
- Beinhofer, B., Knoke, T. (2007b): Fichtenastung als Beitrag zur Produktdiversifikation? *Forstarchiv* 78 (5): 150-157.
- Beinhofer, B., Knoke, T. (2007c): Finanzielle Konsequenzen der Fichtenastung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 178 (9/10): 157-164.
- Beinhofer, B., Knoke, T. (2009): Ansatzpunkte einer finanziellen Optimierung der Kiefernbewirtschaftung. *Forst und Holz* 64 (1): 12-16.
- Ben-Haim, Y. (2006): *Info-Gap Decision Theory: Decisions Under Severe Uncertainty*. 2. Auflage. Amsterdam.
- Benitez, P.C., Kuosmanen, T., Olschewski, R., Kooten, G.C. van (2006): Conservation Payments under Risk: A Stochastic Dominance Approach. *American Journal of Agricultural Economics* 88 (1): 1-15.
- Bergmann, J.-H. (2006): Auswirkungen der weitständigen Erziehung auf vorwüchsige Kiefern in Kieferndickungen. *AFZ-DerWald* 61 (19): 1044-1045.
- Bergmann, J.-H., Wense, W.-H. von der (2003): Denkanstöße: IV: Die weitständige Begründung der Kiefer mit anschließender Grünastung. *Forst und Holz* 58 (10): 298-300.
- Bertsimas, D., Lauprete, G.J., Samarov, A. (2004): Shortfall as a risk measure: Properties, optimization and applications. *Journal of Economic Dynamics & Control* 28: 1353-1381.
- Binkley, C., Raper, C., Washburn, C. (1996): Institutional Ownership of US Timberland: History, Rationale, and Implications for Forest Management. *Journal of Forestry* 94 (9): 21-28.
- Blandon, P. (1985): Agroforestry and portfolio theory. *Agroforestry Systems* 3 (3): 239-249.
- Blaschke, M., Cech, T.L. (2007): Absterbende Weißkiefern - eine langfristige Folge des Trockenjahres 2003? *Forstschutz Aktuell* 40: 32-34.

- Böhm, R. (2006): Klimawandel oder Klimavariation? BFW-Praxisinformation 10-2006: 6-8.
- Bolte, A. (2005): Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa: Die klimatische Anpassungsfähigkeit der "Mutter des Waldes". AFZ-DerWald 60 (20): 1077-1078.
- Bolte, A., Ibisch, P., Menzel, A., Rothe, A. (2008): Was Klimahüllen uns verschweigen. AFZ-DerWald 63 (15): 800-803.
- Bonn, S. (2000): Konkurrenzdynamik in Buchen/Eichen-Mischbeständen und zu erwartende Modifikationen durch Klimaänderungen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 171: 81-88.
- Borchert, H., Kölling, C. (2003): Wachsen Palmen bald am Chiemsee? Welche waldbaulichen Konsequenzen werden derzeit diskutiert? LWF aktuell 37: 23-29.
- Borchert, H., Kölling, C. (2004): Waldbauliche Anpassung an den Klimawandel jetzt beginnen. LWF aktuell 43: 28-30.
- Bradtke, T. (2003): Grundlagen in Operations Research für Ökonomen. Oldenburg.
- Brandl, H. (1988): Entwicklungen der Ertragslage der vier Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche im Staatsforstbetrieb von Baden-Württemberg und ihr Einfluss auf die waldbauliche Planung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 159: 164-170.
- Brandl, H. (1989): Ergänzende Untersuchungen zur Ertragslage der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche in Baden-Württemberg. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 160 (5): 91-98.
- Bräuning, R., Dieter, M. (1999): Waldumbau, Kalamitätsrisiken und finanzielle Erfolgskennzahlen: Eine Anwendung von Simulationsmodellen auf Daten eines Forstbetriebes. Schriften zur Forstökonomie 18. Frankfurt am Main.
- Brogan, A.J., Stidham, S. (2005): A note on separation in mean-lower-partial-moment portfolio optimization with fixed and moving targets. IIE Transactions 37: 901-906.
- Brosinger, F., Tretter, S. (2007): Waldbau im Zeichen des Klimawandels: Anpassung durch Waldumbau und naturnahe Forstwirtschaft. LWF aktuell 60: 21-23.
- Bryndum, H. (1987): Buchendurchforstungsversuche in Dänemark. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 158 (7/8): 115-121.
- Bues, C.-T. (1996): Zur Holzqualität weitständig gepflanzter und „geschneitelter“ Fichten aus dem Frankenwald. Forst und Holz 51 (2): 45-49.
- Bühler, W., Korn, O., Schmidt, A. (1998): Ermittlung von Eigenkapitalanforderungen mit "Internen Modellen": Eine empirische Studie zur Messung von Zins-, Währungs- und Optionsrisiken mit Value-at-Risk-Ansätzen. Die Betriebswirtschaft 58: 64-85.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2005a): Die zweite Bundeswaldinventur-BWI²: Der Inventurbericht. Berlin.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2005b): Das potenzielle Rohholzaufkommen 2003-2042. Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2006): Energiekosten der privaten Haushalte. Unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/bestellservice,did=51848.html>; Zugriff: August 2006.
- Buongiorno, J. (1977): Long-Term Forecasting of Major Forest Products Consumption in Developed and Developing Economies. Forest Science 23 (1): 13-25.
- Burschel, P. (2007): Karl Gayer und sein Lebenswerk. LWF Wissen 58: 9-13.
- Burschel, P., Boedicker, C., Ammer, C. (1994): Kiefernbewirtschaftung: Moderne Kiefernwirtschaft: Dargestellt am Beispiel eines Bestandes in der bayerischen Oberpfalz. Der Wald 44 (3): 82-85, 116-119.
- Burschel, P., Huss, J. (1997): Grundriß des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis. 2. Auflage. Berlin.
- Burschel, P., Klumpers, J., Binder, F. (1989): Durchforstung und Ästung in einem Kiefernbestand. AFZ 44 (16/17): 415-418.
- Campbell, R., Huisman, R., Koedijk, K. (2001): Optimal portfolio selection in a Value-at-Risk framework. Journal of Banking & Finance 25: 1789-1804.

- Chamberlain, G. (1983): A Characterization of the Distributions That Imply Mean-Variance Utility Functions. *Journal of Economic Theory* 29: 185-201.
- Chang, S.J. (2001): One formula, myriad conclusions, 150 years of practicing the Faustmann Formula in Central Europe and the USA. *Forest Policy and Economics* 2: 97-99.
- Choudhry, M. (2006): *An Introduction to Value at Risk*. 4. Auflage. Chichester.
- Clasen, C., Frischbier, N., Zehner, T. (2008): Ursachenanalyse zum Schadausmaß des Sturmes "Kyrill" in Thüringen. *AFZ-DerWald* 63 (14):746-748.
- Conroy, R., Miles, M. (1989): Commercial Forestland in the Pension Portfolio: The Biological Beta. *Financial Analysts Journal* 45 (5): 46-54.
- Cotta, H. (1828): *Anweisung zum Waldbau*. Dresden.
- Daniëlsson, J., Jorgensen, B.N., de Vries, C.G., Yang, X. (2008): Optimal portfolio allocation under the probabilistic VaR constraint and incentives for financial innovation. *Annals of Finance* 4: 345-367.
- Deegen, P. (1994): Beitrag zur Analyse und Berechnung von Risiko am Einzelbestand. *Forstarchiv* 65: 280-285.
- Deegen, P. (2007): Effizienz in der Forstwirtschaft: Faustmann-Denken von den Grundlagen bis zu den höheren Analysetechniken. Unter: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_forstwissenschaften/institute/oekonomie/foe/downloads_fpfoe/Sommerschule.pdf; Zugriff: März 2008.
- Deegen, P., Hung, B., Mixdorf, U. (1997): Ökonomische Modellierung der Baumartenwahl bei Unsicherheit der zukünftigen Temperaturentwicklung. *Forstarchiv* 68 (5): 194-205.
- Dieter, M. (1997): Berücksichtigung von Risiko bei forstbetrieblichen Entscheidungen. *Schriften zur Forstökonomie* 16. Frankfurt am Main.
- Dieter, M. (2001): Land expectation values for spruce and beech calculated with Monte Carlo modelling techniques. *Forest Policy and Economics* 2 (2): 157-166.
- Dittmar, C., Zech, W., Elling, W. (2003): Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe: A dendrological study. *Forest Ecology and Management* 173: 63-78.
- Dittrich, K. (1985): Realistische Zielstrukturen forstlicher Betriebsklassen auf der Grundlage langfristiger Waldentwicklung: Ein Beitrag zur Objektivierung der Nachhaltregelung. Dissertation. Dresden.
- Dong, P.H., Roeder, A. (1995): Z-baumorientierte Jungbestandspflege bei Kiefer. *AFZ* 50 (2): 64-66.
- Dowd, K. (1998): *Beyond Value at Risk: The new science of risk management*. Chichester.
- Duffner, W. (1999): Wald im Portfolio eines wirtschaftenden Unternehmens. *Forst und Holz* 54 (15): 451-456.
- Eder, W. (1999): Grundlagen und Überlegungen zu neuen Konzeptionen für die Kiefernwirtschaft in Rheinland-Pfalz. *Forst und Holz* 54 (7): 209-212.
- Eftekhari, B. (1998): Lower partial moment hedge ratios. *Applied Financial Economics* 8: 645-652.
- Eisenbarth, E. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in Rheinland-Pfalz. *AFZ-DerWald* 56 (23): 1220-1221.
- Eisenbarth, E., Wilhelm, G.J., Berens, A. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen. *AFZ-DerWald* 56 (23): 1212-1217.
- Elling, W., Dittmar, C. (2003): Neuartige Zuwachsdepressionen bei Buchen. *AFZ-DerWald* 58 (1): 42-45.
- Elton, E.J., Gruber, M.J. (1991): *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. New York.
- Emmer, S. (2002): *Optimal Portfolios with Bounded Downside Risks*. Dissertation. München.
- EST (2000): Tarifvertrag über die Entlohnung von Holzerntearbeiten nach dem Erweiterten Sortentarif (EST) vom 3. Mai 1979 in der Fassung des Änderungs-TV Nr. 17 vom 19. Sep-

- tember 2000.
- EWI/Prognos (2006): Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und -nachfrage: Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030 für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Langfassung. Berlin. Unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/auswirkungen-hoehere-oelpreise-auf-energieangebot,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>; Zugriff: August 2006.
- Fabian, P. (1991): Klima und Wald: Perspektiven für die Zukunft. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110: 286-304.
- Fabian, P., Menzel, A. (1998): Wie sehen die Wälder von morgen aus - aus der Sicht eines Klimatologen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 117: 339-354.
- Faustmann, M. (1849): Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Monat December: 441-455.
- Felbermeier, B. (1993): Der Einfluss von Klimaveränderung auf die Areale von Baumarten: Methodenstudie und regionale Abschätzung für die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Bayern. Forstliche Forschungsberichte München 134.
- Felbermeier, B. (1994): Die klimatische Belastbarkeit der Buche. Forstwissenschaftliches Centralblatt 113: 152-174.
- Felbermeier, B. (2008): Mitteilung per e-Mail.
- Fell, R. (2007): Mündliche Mitteilung.
- Fischer, T. (2003): Risk capital allocation by coherent risk measures based on one-sided moments. *Mathematics and Economics* 32: 135-146.
- Fishburn, P.C. (1977): Mean-Risk Analysis with Risk Associated with Below-Target Returns. *The American Economic Review* 67 (2): 116-126.
- Forbrig, A., Klugmann, K., Nick, L. (2004): Kalkulationsgrundlagen der Arbeitsverfahren. *AFZ-DerWald* 59 (11/12): 582-583.
- Forstamt Rothenbuch (2004): Eichen-Exkursion. Exkursionsführer. Rothenbuch.
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (2000): Wertästung. Merkblätter. 3. Auflage. Freiburg.
- Frank, W. (1939): Die Nachzucht der Eiche im badischen Frankenland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 115: 173-196.
- Freise, C., Spiecker, H. (1999): Konkurrenzfreies Wachstum der Buche. *AFZ-DerWald* 54 (25): 1346-1349.
- Gaul, T., Stüber, V. (1996): Der Eichen-Nelder-Verbandsversuch Göhrde. *Forst und Holz* 51 (3): 70-75.
- Gayer, K. (1886): Der gemischte Wald: Seine Begründung und Pflege, insbesondere durch Horst- und Gruppenwirtschaft. Verlag Paul Parey: Berlin.
- Gayer, K. (1891): Waldbauliches Bekenntnis. Aus dem Walde, *Wochenblatt für Forstwirtschaft* 27: 105-107.
- Gerber, H.U., Pafumi, G. (1998): Utility Functions: From Risk Theory to Finance. *North American Actuarial Journal* 2 (3): 74-100.
- Godoy, R., Feaw, T. (1991): Agricultural diversification among smallholder rattan cultivators in Central Kalimantan, Indonesia. *Agroforestry Systems* 13 (1): 27-40.
- Gong, P., Löfgren, K. (2003): Risk-Aversion and the Short-Run Supply of Timber. *Forest Science* 49 (5): 647-656.
- Gotoh, J., Konno, H. (2000): Third Degree Stochastic Dominance and Mean-Risk Analysis. *Management Science* 46 (2): 289-301.
- Gourieroux, C., Laurent, J.P., Scaillet, O. (2000): Sensitivity analysis of Value at Risk. *Journal of Empirical Finance* 7: 225-245.
- Grootveld, H., Hallerbach, W. (1999): Variance vs downside risk: Is there really that much

- difference? *European Journal of Operational Research* 114: 304-319.
- Hamm, J. (1900): Leitsätze für den Mittelwaldbetrieb. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 8: 392-404.
- Hanewinkel, M., Breidenbach, J., Neeff, T., Kublin, E. (2008): Seventy-seven years of natural disturbances in a mountain forest area-the influence of storm, snow, and insect damage analysed with a longterm time series. *Canadian Journal of Forest Research* 38 (8): 2249-2261.
- Hanke, G. (2005): Klimawandel: Herausforderung aus waldökologischer und waldbaulicher Sicht. *LÖBF-Mitteilungen* 2/05: 25-28.
- Harlow, W.V., Rao, R.K.S. (1989): Asset Pricing in a Generalized Mean-Lower Partial Moment Framework: Theory and Evidence. *Journal of financial and quantitative analysis* 24 (3): 285-311.
- Hartig, G.L. (1804): Anweisung zur Taxation und Beschreibung der Forste. Gießen.
- Hartmann, G., Blank, R. (1998): Buchensterben auf zeitweise nassen Standorten unter Beteiligung von *Phytophthora-Wurzelfäule*. *Forst und Holz* 53 (7): 187-193.
- Hartmann, G., Blank, R., Kunca, A. (2005): Wurzelhalsfäule der Buche durch *Phytophthora cambivora*: Schäden, gefährdete Standorte und betroffenen Baumarten in Nordwestdeutschland. *Forst und Holz* 60 (4): 139-144.
- Hartmann, H., Reisinger, K. (2007): Heizkosten bei häuslicher Holzfeuerungen. Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: Jahresbericht 2006. Straubing.
- Hasel, K., Schwartz, E. (2002): Forstgeschichte, Ein Grundriss für Studium und Praxis. 2. Ausgabe. Remagen.
- Hasenauer, H., Stampfer, E., Rohrmoser, C., Sterba, H. (1994): Solitärdimensionen der wichtigsten Baumarten Österreichs. *Österreichische Forstzeitung* 105 (3): 28-29.
- Healey, T., Corriero, T., Rozenov, R. (2005): Timber as an Institutional Investment. *The Journal of Alternative Investments* 8 (3): 60-74.
- Hehn, M., Pfeil, C., Sauter, F., Sauter, U.H. (2005): Kurzholzaushaltung von Nadelstarkholz: Erfahrungen und Empfehlungen für Hänge und Steilhänge. *Badische Bauern Zeitung*, Oktober 2005.
- Heidingsfelder, A., Knoke, T. (2004): Douglasie versus Fichte: Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern. *Schriften zur Forstökonomie* 26. Frankfurt am Main.
- Heikkinen, V. (1999): Cutting Rules for Final Fellings: A Mean-Variance Portfolio Analysis. *Journal of Forest Economics* 5 (2): 269-284.
- Heikkinen, V. (2002): Co-integration of Timber and Financial Markets: Implications for Portfolio Selection. *Forest Science* 48 (1): 118-126.
- Heikkinen, V. (2003): Timber Harvesting as a Part of the Portfolio Management: A Multiperiod Stochastic Optimisation Approach. *Management Science* 49 (1): 131-142.
- Heikkinen, V., Kuosmanen, T. (2003): Stochastic Dominance Portfolio Analysis of Forestry Assets. Wesseler, J., Weikard, H., Weaver, R. (Hrsg.): *Risk and uncertainty in environmental and natural resource economics*. Edward Edgar Publishing: Cheltenham/Northampton: 217-234.
- Hein, S. (2004): Ästungsqualität und Wachstumsreaktion bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). Tagungsband zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Versuchs- und Forschungsanstalten 2004: 69-76.
- Hein, S. (2005): Wertästung bei Buche? *FVA-Einblick* 9 (2): 2-3.
- Henking, A., Bluhm, C., Fahrmeir, L. (2006): Kreditrisikomessung: Statistische Grundlagen, Methoden und Modellierung. Berlin.
- Heukamp, B. (1999): Buchenbestände aus extremen Weitverbänden. *Forst und Holz* 54 (10): 302-304.

- Hilf, H.H. (1933): Deutsche Wertholzerzeugung. Forstarchiv 9 (18): 291-297.
- Hochbichler, E., Krapfenbauer, A. (1988): Behandlungsprogramme für die Werteichenproduktion im Wienerwald und Weinviertel. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 105 (1): 1-23.
- Hochbichler, E., Krapfenbauer, A., Mayrhofer, F. (1990): Ein Pflegemodell für Eichenjungbestände: Grünastung: Eine wirtschaftliche Problemlösung der Wertholzerziehung. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 107 (1): 1-12.
- Hof, J., Bevers, M., Pickens, J. (1996): Chance-Constrained Optimization with Spatially Autocorrelated Forest Yields. Forest Science 42 (1): 118-123.
- Holec, J., Hanewinkel, M. (2006): A forest management risk insurance model and its application to coniferous stands in southwest Germany. Forest Policy and Economics 8 (2): 161-174.
- Höllerl, S. (2009): Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen auf die Stabilität (Resistenz und Elastizität) von Fichtenreinbeständen in der Bergmischwaldstufe der Bayerischen Alpen-Eine Analyse aus waldbaulich-forstökonomischer Sicht. Dissertation. Freising.
- Homaifar, G., Graddy, D.B. (1990): Variance and Lower Partial Moments Betas as Alternative Risk Measures in cost of Capital Estimation: a defense of the capm beta. Journal of Business Finance & Accounting 17 (5): 677-688.
- Höppe, P. (2008): Steigende Schäden durch Naturkatastrophen-wie ist die Forstwirtschaft davon betroffen? Vortrag auf der Tagung: Der Wald im Klimawandel-Opfer oder Retter, Weißenstephan.
- Huss, J. (1983): Durchforstung in Kiefernjungbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 102: 1-17.
- Huss, J. (1990): Zur Durchforstung engbegründeter Fichtenjungbestände. Forstwissenschaftliches Centralblatt 109: 101-118.
- Huss, J. (1991): Exkursionsführer für den Kiefern-Jungdurchforstungsversuch Burglengelfeld (1976). Exkursionsführer. Freiburg.
- Huss, J. (1999): Auswirkungen unterschiedlicher Ausgangspflanzendichten und frühzeitiger Pflegeeingriffe bei jungen Kiefern. Teil I und II. Forst und Holz 54 (11,12): 335-341, 364-368.
- Huss, J. (2006): Zur Begründung von Eichen auf Sturmschadensflächen. Tagungsband zur Jahrestagung der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Versuchsanstalten 2006: 98-113.
- Hyytiäinen, K., Penttinen, M. (2008): Applying portfolio optimisation to the harvesting decisions of non-industrial private forest owners. Forest Policy and Economics 10 (3): 151-160.
- Jacobsen, J., Helles, F. (2006): Adaptive and nonadaptive harvesting in uneven-aged beech forest with stochastic prices. Forest Policy and Economics 8 (3): 223-238.
- Jansen, D.W., Koedijk, K.G., de Vries, C.G. (2000): Portfolio selection with limited downside risk. Journal of Empirical Finance 7: 247-269.
- Jarrow, R., Zhao, F. (2006): Downside Loss Aversion and Portfolio Management. Management Science 52 (4): 558-566.
- Jean, W.H. (1975): Comparison of Moment and Stochastic Dominance Ranking Methods. Journal of Financial and Quantitative Analysis 10 (1): 151-161.
- Jobling, J., Pearce, M.L. (1977): Free Growth of Oak. Forest Record 113, Forestry Commission, HMSO. London.
- Jorion, P. (2001): Value at Risk. 2. Auflage. New York.
- Jung, T. (2004): Phytophthora schädigt Buchenbestände in ganz Bayern: Symptome konnten in vielen untersuchten Beständen bestätigt werden. LWF aktuell 43: 36-37.
- Jung, T. (2005): Wurzel- und Stammschäden an Buchen (*Fagus sylvatica* L.) durch bodenbürtige Phytophthora-Arten in Bayern: Schadbilder, Verbreitung und Standortbezüge. Forst und Holz 60 (4): 131-139.

- Jung, T., Blaschke, H., Lang, K.J., Oßwald, W. (1996): Phytophthora-Wurzelfäule der Stiel- und Traubeneiche. *AFZ-DerWald* 51 (26): 1470-1474.
- Jung, T., Blaschke, H., Oßwald, W. (2000): Involvement of soilborne Phytophthora species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathology* 49: 706-718.
- Jüttner, O. (1955): Ertragstafel für Eiche, mäßige Durchforstung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Auflage 1990: 133-144.
- Kahn, M., Pretzsch, H. (1997): Das Wachstumsmodell SILVA-Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 168: 115-123.
- Keller, W., Pfäffli, F. (1987): Zuwachsverhältnisse in zwei Fichtenbeständen nach Grünastung. *Mitteilungen der eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* 63 (1): 56-80.
- Kenk, G. (1984): Werteichenproduktion und ihre Verbesserung in Baden-Württemberg. *AFZ* 39: 428-429.
- Kenk, G. (1990): Fichtenbestände aus Weitverbänden: Entwicklung und Folgerungen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 109: 86-100.
- Kiesel, R., Perraudin, W., Taylor, A. (2002): Credit and Interest Rate Risk. In: Dempster, M.A.H. (Hrsg.): *Risk Management: Value at Risk and Beyond*. Cambridge: 129-144.
- Knoke, T. (1998): Die Stabilisierung junger Fichtenbestände durch starke Durchforstungseingriffe: Versuch einer ökonomischen Bewertung. *Forstarchiv* 69 (6): 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* 193. Freising.
- Knoke, T. (2004): Die Begründung von Mischbeständen: Eine Möglichkeit zur Minderung von Risiko? *Kongressbericht des Deutschen Forstvereins zur Tagung 2003 in Mainz*: 344-355.
- Knoke, T. (2005): Zu betriebswirtschaftlichen Chancen in der Forstwirtschaft. *Der bayerische Waldbesitzer* 2005 (5): 12-15.
- Knoke, T. (2008a): Mixed forests and finance - Methodological approaches. *Ecological Economics* 65 (3): 590-601.
- Knoke, T. (2008b): Zur Rolle der Douglasie in einem finanziell optimierten Baumarten-Portfolio. *LWF Wissen* 59: 83-87.
- Knoke, T., Ammer, C., Stimm, B., Mosandl, R. (2008): Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *European Journal of Forest Research* 127 (2): 89-101.
- Knoke, T., Hahn, A. (2007): Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungseinblick und -ausblick. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 158 (10): 312-322.
- 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., Seifert, T. (2008): Integrating selected ecological effects of mixed European beech-Norway spruce stands in bioeconomic modelling. *Ecological Modelling* 210 (4): 487-498.
- Knoke, T., Stimm, B., Ammer, C., Moog, M. (2005): Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept. *Forest Ecology and Management* 213 (1/3): 102-116.
- Knoke, T., Wurm, J. (2006): Mixed forests and a flexible harvest policy: A problem for conventional risk analysis? *European Journal of Forest Research* 125 (3): 303-315.
- Kobelt, H., Schulte, P. (1985): *Finanzmathematik: Methoden, betriebswirtschaftliche*

- Anwendungen und Aufgaben mit Lösungen. 3. Auflage. Berlin.
- Kölling, C. (2007): Bäume für die Zukunft: Baumartenwahl in den Zeiten des Klimawandels. LWF aktuell 60: 35-37.
- Kölling, C. (2008): Die Douglasie im Klimawandel: Gegenwärtige und zukünftige Anbaubedingungen in Bayern. LWF Wissen 59: 12-21.
- Kölling, C., Ammer, C. (2006): Waldumbau unter den Vorzeichen des Klimawandels: Zahlen der Bundeswaldinventur zeigen Anpassungsschwerpunkte. AFZ-DerWald 61 (20): 1086-1089.
- Kölling, C., Konnert, M., Schmidt, O. (2008): Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel. AFZ-DerWald 63 (15): 804-807.
- Kölling, C., Walentowski, H., Borchert, H. (2005): Die Buche in Mitteleuropa: Eine Waldbaumart mit grandioser Vergangenheit und sicherer Zukunft. AFZ-DerWald 60 (13): 696-701.
- Kölling, C., Zimmermann, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Gefahrstoffe-Reinhalte der Luft 67 (6): 259-268.
- Kölling, C., Zimmermann, L., Walentowski, H. (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? AFZ-DerWald 62 (11): 584-588.
- König, A. (1995): Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald: Ein Erklärungs- und Prognosemodell. Frankfurt am Main.
- 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. Freising.
- König, A., Mößmer, R., Bäumler, A. (1995): Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden des Frühjahrs 1990 in Bayern und meteorologische Situation zur Schadenszeit. Berichte aus der LWF, Nummer 2. Freising.
- Köstler, J. (1950): Waldbau: Grundriß und Einführung als Leitfaden zu Vorlesungen über Bestandesdiagnose und Waldtherapie. Berlin.
- Kouba, J. (2002): Das Leben des Waldes und seine Lebensunsicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 121: 211-228.
- Krahl-Urban, J. (1963): Untersuchungen über Verbandsweiten bei Buchenpflanzungen. Forstarchiv 34 (6): 157-164.
- Kramer, H. (1991): Bestandesbehandlungskonzepte und Wirtschaftsziele, Aktuelle Fragen zur Bestandesbegründung und Bestandespflege bei Nadelholzbeständen. Der Wald 41 (4): 115-120.
- Krapfenbauer, A., Hochbichler, E. (1984): Erprobung eines Pflegemodells in Eichenjungbeständen. Centralblatt für das Gesamte Forstwesen 101 (3): 172-180.
- Krehan, H., Steyrer, G. (2006): Klimaänderung-Schadorganismen bedrohen unsere Wälder. BFW-Praxisinformation 10-2006: 15-17.
- Kriebitzsch, W.-U., Scholz, F., Anders, S., Müller, J. (2005): Anpassung von Wäldern an Klimaveränderungen. Forschungsreport Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft 4 (1): 22-25.
- Kroth, W. (1989): Die Szenario-Varianten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 108: 2-7.
- Kublin, E., Scharnagel, G. (1988): Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- Kuosmanen, T. (2004): Efficient Diversification According To Stochastic Dominance Criteria. Management Science 50 (10): 1390-1406.
- Kupiec, P. (1998): Stress Testing in a Value at Risk Framework. Journal of Derivatives 6 (1): 7-24.
- KWF (2004): Starkholz: Kundenorientierte Sortierung von Nadelstarkholz-Fixlängen: Sortierung als Mittel der Produktgestaltung. Unter: <http://www.kwf-online.de/deutsch/arbeit/holzerntebericht/1Demotour/Data/4starkholz>; Zugriff: Juni 2006.

- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2003): Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung. LWF Merkblatt 12.
- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2004): Erfolg von Buchensaaten steigern. LWF Merkblatt 16. Freising.
- Lässig, R. (1991): Wachstum von Fichtensolitären [*Picea abies* (L.) Karst.] in Südwestdeutschland. Dissertation. Freiburg.
- Lausti, A. (2004): The Inflation-Hedging Characteristics of Forest Ownership, Private Housing and Stocks in Finland. *The Finnish Journal of Business Economics* 53 (4): 427-451.
- Leder, B. (2006): Empfehlungen für eine naturnahe Bewirtschaftung der Buche in NRW. Unter: http://www.wald-und-holz.nrw.de/30Wald_und_Beratung/Oeko_Waldbau/index.php; Zugriff: Dezember 2008.
- Leder, B., Hanke, U. (2005a): Qualitative Beschreibung eines 118-jährigen Rotbuchen-Reinbestandes aus Weitverband. *Forstarchiv* 76: 102-110.
- Leder, B., Hanke, U. (2005b): Rotbuchen-Reinbestand aus Weitverband. *AFZ-DerWald* 60 (13): 708-711.
- Lee, W.Y., Rao, R.K.S. (1988): Mean Lower Partial Moment Valuation and Lognormally Distributed Returns. *Management Science* 34 (4): 446-453.
- Leefken, G., Möhring, B., Piest, E., Wrede, E. von, Ellermann, W. (2006): 37 Jahre Betriebsvergleich Westfalen Lippe. *AFZ-DerWald* 61 (23): 1254-1256.
- Leitgeb, E., Englisch, M. (2006): Klimawandel-Standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft. *BFW-Praxisinformation* 10-2006: 9-11.
- Leitner, J. (2008): Optimal Portfolios with Lower Partial Moment Constraints and LPM-Risk-Optimal Martingale Measures. *Mathematical Finance* 18 (2): 317-331.
- Leskinen, P., Viitanen, J., Kangas, A., Kangas, J. (2006): Alternatives to Incorporate Uncertainty and Risk Attitude in Multicriteria Evaluation of Forest Plans. *Forest Science* 52 (3): 304-312.
- Lexer, M.J., Seidl, R. (2007): Der österreichische Wald im Klimawandel: Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Unter: http://www.accc.at/pdf/Lexer_Seidl_pdf_END.pdf; Zugriff: Juli 2008.
- Lexer, M.J., Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D. (2006): Waldbaukonzepte im Klimawandel-ein simulationsgestützter Vergleich. *BFW-Praxisinformation* 10-2006: 25-27.
- Liang, J., Buongiorno, J., Monserud, R.A. (2006): Bootstrap Simulation and Response Surface Optimization of Management Regimes for Douglas-Fir/Western Hemlock Stands. *Forest Science* 52 (5): 579-594.
- Lindner, M. (1999): Klimaeinflüsse auf Wachstum und Verbreitung von Waldbäumen. *AFZ-DerWald* 11: 561-564.
- Lohmander, P. (1993): Economic two stage multi species management in a stochastic environment: The value of selective thinning options and stochastic growth parameters. *Systems Analysis Modelling Simulation* 11: 287-302.
- Lönnstedt, L., Svensson, J. (2000): Return and Risk in Timberland and Other Investment Alternatives for NIPF Owners. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15 (6): 661-660.
- Lücke (1968): Grünästung der Kiefer. *Der Forst- und Holzwirt* 20: 421-423.
- Lundgren, T. (2005): Assessing the Investment Performance of Swedish Timberland: A Capital Asset Pricing Model Approach. *Land Economics* 81 (3): 353-362.
- Lüpke, B. von (2004): Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: Ein Spannungsfeld. *Forstarchiv* 75: 43-50.
- Lüpke, B. von, 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. et al. (Hrsg.): *Management of mixed-species forest: silvicultural and economics*. Wageningen: 245-267.

- Mäkinen, H., Hein, S. (2006): Effekt of wide spacing on increment and branch properties of young Norway spruce. *European Journal of Forest Research* 125: 239-248.
- Mandelbrot, B.B., Hudson R.L. (2005): *Fraktale und Finanzen: Märkte zwischen Risiko, Rendite und Ruin*. München.
- Mankiw, N.G. (1999): *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. Stuttgart.
- Mantau, U. (2006): Kampf um den Rohstoff Holz trotz riesiger Potenziale? *AFZ-DerWald* 61 (3): 111-113.
- Mantel, W. (1957): Im Geiste Gayers, Mythos und Wirklichkeit kurz aufgeblendet. *Allgemeine Forstzeitschrift* 12 (10): 136-137.
- Markowitz, H. (1952): Portfolio selection. *The Journal of Finance* 7 (1): 77-91.
- Markowitz, H. (1959): *Portfolio selection: Efficient Diversification of Investments*. New York.
- Maurer, R., Reiner, F. (2002): International Asset Allocation with Real Estate Securities in a Shortfall Risk Framework: The Viewpoint of German and U.S. Investors. *Journal of Real Estate Portfolio Management* 8 (1): 27-43.
- Mazzoleni, P. (2004): Risk measures and return performance: A critical approach. *European Journal of Operational Research* 155: 268-275.
- Medova; E.A., Kyriacou, M.N. (2002): Extremes in Operational Risk Management. In: Dempster, M.A.H. (Hrsg.): *Risk Management: Value at Risk and Beyond*. Cambridge: 247-274.
- Memmler, M. (2007): Stell Dir vor, der Holzpreis steigt.... *AFZ-DerWald* 62 (3): 150-151.
- Meyer, C. (1999): *Value at Risk für Kreditinstitute: Erfassung des aggregierten Marktrisikopotentials*. Wiesbaden.
- Milevsky, M.A. (1999): Time Diversification, Safety-First and Risk. *Review of Quantitative Finance and Accounting* 12 (3): 271-281.
- Mills Jr., W.L., Hoover, W.L. (1982): Investments in Forest Land: Aspects of Risk and Diversification. *Land Economics* 58 (1): 33-51.
- Möhring, B. (1986): *Dynamische Betriebsklassensimulation: Ein Hilfsmittel für die Waldschadensbewertung und Entscheidungsfindung im Forstbetrieb*. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben 20. Göttingen.
- Möhring, B. (1994): *Über ökonomische Kalküle für forstliche Nutzungsentscheidungen*. Schriften zur Forstökonomie 7. Frankfurt am Main.
- Möhring, B. (2001): 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 (11): 523-530.
- Möhring, B., Volckens, F. (2006): Ein privatwirtschaftlich organisierter forstlicher Betriebsvergleich. *AFZ-DerWald* 61 (23): 1258-1259.
- Möller, A. (1922): *Der Dauerwaldgedanke. Sein Sinn und seine Bedeutung*. Berlin.
- Moog, M., Weber, W. (2001): *Selecting Optimal Investment in Forestry: Portfolio Selection Approaches*. Annual Meeting of IUFRO Managerial Economics group and M.S.E.Accounting group. The International Symposium on The Economics of Natural Hazards in Forestry, Solsona. Spanien.
- Moosmayer, H.-U., Schöpfer, W., Mühlhäuser, G., Kublin, E., Burger, H.U. (1996): Schätzfunktionen zur Ermittlung der standortstypischen Wuchsleistung von Fichte und Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 167 (5): 95-103.
- Mosandl, R. (2007): *Waldbauwissenschaft auf den Spuren von Karl Gayer*. *LWF Wissen* 58: 14-19
- Mosandl, R., Bues, C.-T., Hannig, W., Walther, G. (1995): Geastete Fichten im Frankenwald als Leitbild für die künftige Fichtenerziehung: Waldbau und Holzqualität. *AFZ-DerWald*

- 50 (24): 1300-1306.
- Mosandl, R., El Kateb, H., Ecker, J. (1991): Untersuchungen zur Behandlung von jungen Eichenbeständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110: 358-370.
- Mosandl, R., Knoke, T. (2002a): Holzpreisschwankungen als Problem der Forstwirtschaft. *AFZ-DerWald* 57 (3): 118-119.
- Mosandl, R., Knoke, T. (2002b): Produktion von Fichtenqualitätsholz durch Astung. *AFZ-DerWald* 57 (3): 120-123.
- Mosandl, R., Paulus, F. (2002): Rationelle Pflege junger Eichenbestände. *AFZ-DerWald* 57 (11): 581-584.
- Neugebauer, G., Wittkopf, S., Baudisch, C., Günsche, F. (2004): Hackschnitzel auf dem Vormarsch: Umfrage bei bayerischen Biomasseheizwerken-Material und Kosten. *LWFaktuell* 48: 9-10.
- Nichols, J., Bristow, M., Vanclay, J. (2006): Mixed-species plantations: Prospects and challenges. *Forest Ecology and Management* 233 (2-3): 383-390.
- Niesar, M., Hartmann, G., Kehr, R., Pehl, L., Wulf, A. (2007): Symptome und Ursachen der aktuellen Buchenrindenerkrankung in höheren Lagen von Nordrhein-Westfalen. *Forstarchiv* 78 (4): 105-116.
- Ollikainen, M. (1993): A mean-variance approach to short-term timber selling and forest taxation under multiple sources of uncertainty. *Canadian Journal of Forest Research* 23 (4): 573-581.
- Olmo, J. (2007): An Asset Pricing Model for Mean-Variance-Downside-Risk Averse Investors. *City University Economics Discussion Papers* 07/01. Unter: <http://ideas.repec.org/p/cty/dpaper/07-01.html>; Zugriff Juni 2008.
- Penttinen, M., Lausti, A. (2004): The Competitiveness and Return Components of NIPF Ownership in Finland. *The Finnish Journal of Business Economics* 53 (2): 143-156.
- Persson, M. (2000): Estimation Risk and Portfolio Selection in the Lower Partial Moment. DOI: 10.2139/ssrn.233896. Unter: <http://ssrn.com/abstract=233896>; Zugriff Juni 2008.
- Petersen, R. (2006): Eichen-Trupp-Pflanzung: Eine geeignete Alternative zur Erziehung wertvoller Eichenbestände? Tagungsband zur Jahrestagung der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Versuchsanstalten 2006: 32-45.
- Pfeil, F.W.L. (1822): Grundsätze der Forstwirtschaft in Bezug auf die Nationalökonomie und die Staats-Finanzwissenschaft. Erster Band Staatswirtschaftliche Forstkunde. Züllichau.
- Pflaumer, P. (1995): *Investitionsrechnung*. 2. Auflage. München.
- Picoult, E. (2002): Quantifying the Risk of Trading. In: Dempster, M.A.H. (Hrsg.): *Risk Management: Value at Risk and Beyond*. Cambridge: 1-59.
- Poddig, T., Brinkmann, U., Seiler, K. (2005): *Portfolio Management, Konzepte und Strategien: Theorie und praxisorientierte Anwendungen mit Excel*. Bad Soden.
- Pommerening, A. (2006): Transformation to continuous cover forestry in a changing environment. *Forest Ecology and Management* 224 (3): 227-228.
- Post, T., Vliet, P. van (2006): Downside risk and asset pricing. *Journal of Banking & Finance* 30: 823-849.
- Poznanski, R. (1973): Las jako układ i macierz prawdopodobienstwa przejsc. *Sylvan* 117 (5): 29-38.
- Pressler, M.R. (1858): *Der rationelle Forstwirth und sein Waldbau des höchsten Ertrags*. Dresden.
- Pretzsch, H. (1999): Waldwachstum im Wandel. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118: 228-250.
- Pretzsch, H. (2000): From yield tables to simulation models for pure and mixed stands. *Journal of Forest Science (Prague)* 46 (3): 97-113.
- Pretzsch, H. (2003): Diversität und Produktivität von Wäldern. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 174 (5-6): 88-98.

- Pretzsch, H., Dursky, J. (2002): Growth Reaction of Norway Spruce (*Picea abies*(L.) Karst.) and European Beech (*Fagus sylvatica* L.) to Possible Climatic Changes in Germany. A Sensitivity Study. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 121 (1): 145-154.
- Pretzsch, H., Utschig, H., Nickel, M. (2001): Fichten-Solitärversuch Traunstein 639. Exkursionsführer. Freising.
- Raab, K., Schneider, S., Deimling, S. (2005): Brennstoffkosten und Brennstoffpreise. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie. Gülzow, Seite 205-224.
- Ramírez, O., Somarriba, E., Ludewigs, T., Ferreira P. (2001): Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems* 51 (2): 141-154.
- Rau-Bredow, H. (2001): Überwachung von Marktpreisrisiken durch Value at Risk. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 30: 315-319.
- Rau-Bredow, H. (2002a): Value at Risk: Normalverteilungshypothese und Extremwertverhalten. *Finanz Betrieb, Zeitschrift für Unternehmensfinanzierung und Finanzmanagement* 3 (Oktober 2002): 603-607.
- Rau-Bredow, H. (2002b): Value at Risk, Expected Shortfall, and Marginal Risk Contribution. In: Szego, G. (Hrsg.)(2004): *Risk Measures for the 21st Century*: 61-68. Wiley.
- Redmond, C.H., Cubbage, F.W. (1988): Portfolio Risk and Returns from Timber Asset Investments. *Land Economics* 64 (4): 325-337.
- Reeves, L.H., Haight, R.G. (2000): Timber harvest scheduling with price uncertainty using Markowitz portfolio optimization. *Annals of Operations Research* 95 (1-4): 229-250.
- Rennenberg, H., Seiler, W., Matyssek, R., Gessler, A., Kreuzwieser, J. (2004): Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) - ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 175 (10/11): 210-222.
- Ripken, H., Spellmann, H. (1980): Modell-Berechnungen der Reinerträge der wichtigsten Baumarten sowie der gesamten Holzproduktion in den Niedersächsischen Landesforsten. *Der Forst- und Holzwirt* 35 (8): 153-165.
- Rittershofer, F., Schölch, M. (2007): Der gemischte Wald in der Lehre: Waldbau an der Fachhochschule Weihenstephan. *LWF Wissen* 58: 20-23.
- Roloff, A. (1992): Mögliche Auswirkungen des Treibhauseffektes auf die Konkurrenzsituation in Waldökosystemen. *Forstarchiv* 63 (1): 4-10.
- Roloff, A., Grundmann, B. (2008): Klimawandel und Baumarten-Verwendung für Waldökosysteme. Forschungsstudie im Auftrag der Stiftung Wald in Not. Dresden.
- Rössler, G., Neumann, M. (2006): Ertragskundliche Grundlagen zur Buchenbewirtschaftung. *BFW-Praxisinformation* 12: 13-15.
- Rotert, F. (2000): Wertästung mit Zeitstudien. Hasbergen.
- Rotert, F. (2002): Bergahorn und Birke: Wertästung mit Zeitstudien. Hasbergen.
- Roy, A.D. (1952): Safety First and the Holding of Assets. *Econometrica* 20: 431-449.
- Rubner, H. (1994): Hundert bedeutende Forstleute Bayerns (1875-1970). *Mitteilungen der Staatsforstverwaltung Bayerns* 47. München.
- Sagemüller, C.D. (2006): Wachstumsanalysen an Fichten: Solitärprogramm 1987. *AFZ-Der-Wald* 61 (20): 1083-1084.
- Sander, F. (2006): Mitteilung per e-mail.
- Sauter, U.H., Hehn, M., Pfeil, C., Herbst, P. (2004): Verfahren zur Mobilisierung von Nadelstarkholz. *Holzzentralblatt* 130 (46): 613-614.
- Schmidt, M. (2003): Eine betriebswirtschaftliche Analyse verschiedener waldbaulicher Behandlungskonzepte für die Baumart Eiche. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Freising.
- Schober, R. (1967): Rotbuche, mäßige Durchforstung. In: *Ertragstabellen wichtiger Baumarten*. Frankfurt.
- Schulte, A. (2006): Mobilisierbare Holzpotenziale geringer als erwartet. *Holz-Zentralblatt*

- 132 (41): 1194-1195.
- Schütz, J.-P. (1999): Naturnaher Waldbau: gestern, heute, morgen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 150 (12): 478-483.
- Seifert, T., Pretzsch, H., Bücking, M. (2003): "Mittelwaldfichten" aus dem Hochwald? Teil 1: Gestalt und Wachstum langkroniger Fichten. Forst und Holz 58 (13/14): 420-426.
- Seiler, M., Arenhövel, W., Profft, I. (2007): Waldbauliche Konsequenzen für Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei. Unter: http://www.waldundklima.net/klima/klima_docs/textfassung_mseiler_tagg_070927.pdf; Zugriff: Juli 2008.
- Seitschek, O. (1983): Zeitgemäßer Waldbau unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Gegebenheiten und Notwendigkeiten. Allgemeine Forstzeitschrift 38: 997-1003.
- Seitschek, O. (1984): Waldbau in Bayern zwischen Umweltbelastung und Ökologie. Der Forst- und Holzwirt 39 (8): 205-209.
- Seitschek, O. (1986): Forsteinrichtung und Waldbauplanung im bayerischen Staatswald. AFZ 41 (36): 884-886.
- Seitschek, O. (1988): Aufbau stabiler Wälder - zentrale Aufgabe des Waldbaues. AFZ 43 (47): 1286-1287.
- Seitschek, O. (1989): Aufbau stabiler Wälder - zentrale Aufgabe des Waldbaues. Forst und Holz 44 (7): 163-169.
- Seitschek, O. (1991a): Waldbauliche Bewältigung der Sturmwurffolgen im bayerischen Staatswald. AFZ 46 (15): 782-787.
- Seitschek, O. (1991b): Mischwald als Ziel des Waldbaues. AFZ 46 (26): 1246-1251.
- Seling, I. (1998): Die Leitidee der Dauerwaldbewegung aus sozialhistorischer Sicht. Forst und Holz 53 (24): 728-732.
- Sharpe, W.F. (1964): Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. The Journal of Finance 19 (3): 425-442.
- Siebenbürger, F. (1980): Die Ertragslage der wichtigsten Baumarten im baden-württembergischen Staatsforstbetrieb, Teil I und II. Der Forst- und Holzwirt 3/4: 44-62 und 61-66.
- Smith, R.L. (2002): Measuring Risk with Extreme Value Theory. In: Dempster, M.A.H. (Hrsg.): Risk Management: Value at Risk and Beyond. Cambridge: 224-246.
- Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen. Mitteilungen des Umweltbundesamtes. Dessau.
- Spellmann, H. (2005): Produziert der Waldbau am Markt vorbei? AFZ-DerWald 60: 454-459.
- Sporrer, H., Reisinger, K. (2004): Äquivalenzpreise von Holzbrennstoffen im Vergleich zu Heizöl. Unter: http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/16028/042rs006_brennstoffpreise.pdf; Zugriff: August 2008.
- Spremann, K. (1996): Wirtschaft, Investition und Finanzierung. 5. Auflage. München.
- Srivastava, S. (1999): Value at Risk Analysis of a Leveraged Swap. Journal of Risk 1 (2): 87-101.
- Stang, S., Beinhofer, B. (2007a): Zur Preisentwicklung auf dem Energieholzmarkt. AFZ-DerWald 62 (3): 126-129.
- Stang, S., Beinhofer, B. (2007b): Heizwert des Holzes und Preissteigerungen bei Energieholz. AFZ-DerWald 62 (9): 484-486.
- Steinbach, M.C. (2001): Markowitz Revisited: Mean-Variance Models in Financial Portfolio Analysis. SIAM Review 43 (1): 31-85. Unter: <http://www.siam.org/journals/sirev/43-1/37665.html>; Zugriff Juni 2008.
- Stone, B.K. (1973): A General Class of Three-Parameter Risk Measures. Journal of Finance 28 (3): 675-685.

- Sun, C., Zhang, D. (2001): Assessing the Financial Performance of Forestry-Related Investment Vehicles: The Capital Asset Pricing Model vs. Arbitrage Pricing Theory. *American Journal of Agricultural Economics* 83 (3): 617-628.
- Tasche, D. (2000): Risk contributions and performance measurement. Research paper, Zentrum Mathematik (SCA). Unter: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.21.6463>; Zugriff Juni 2008.
- Thomasius, H. (1991): Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110 (5): 305-330.
- Thomson, T.A. (1991): Efficient Combinations of Timber and Financial Market Investments in Single-Period and Multiperiod Portfolios. *Forest Science* 37 (2): 461-480.
- Thomson, T.A. (1997): Long-Term Portfolio Returns from Timber and Financial Assets. *Journal of Real Estate Portfolio Management* 3 (1): 57-73.
- Thren, M. (1985): Erste Ergebnisse eines Kiefernverbandsversuchs im Fbz. Karlsruhe-Hardt. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 156 (1/2): 24-37.
- Tobin, J. (1958): Liquidity preferences as a behavior towards risk. *The Review of Economic Studies* 25 (2): 65-86.
- Tromborg, E., Buongiorno, J., Solberg, B. (2000): The global timber market: Implications of changes in economic growth, timber supply and technological trends. *Forest Policy and Economics* 1: 53-69.
- Unser, M. (2000): Lower partial moments as measures of perceived risk: An experimental study. *Journal of Economic Psychology* 21: 253-280.
- Valkonen, S., Valsta, L. (2001): Productivity and economics of mixed two-storied spruce and birch stands in Southern Finland simulated with empirical models. *Forest Ecology and Management* 140 (2-3): 133-149.
- Vaneslow, K. (1956): Einfluss des Pflanzverbandes auf die Entwicklung reiner Fichtenbestände III. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 75: 193-207.
- Vinod, H.D. (2004): Ranking mutual funds using unconventional utility theory and stochastic dominance. *Journal of Empirical Finance* 11: 353-377.
- Vlad, J. (1940): Zuwachsverhältnisse im Mittelwald. Dissertation. München.
- Wagner, J.E., Rideout, D.B. (1991): Evaluating Forest Management Investments: The Capital Asset Pricing Model and the Income Groth Model. *Forest Science* 37 (6): 1591-1604.
- Wagner, J.E., Rideout, D.B. (1992): The stability of the capital asset pricing model's parameters in analyzing forest investments. *Canadian Journal of Forest Research* 22 (11): 1639-1645.
- Wagner, S. (2004): Klimawandel - einige Überlegungen zu waldbaulichen Strategien. *Forst und Holz* 59 (8): 394-398.
- Walentowski, H., Kölling, C., Ewald, J. (2007): Die Waldkiefer - bereit für den Klimawandel? *LWF Wissen* 57: 37-46.
- Washburn, C., Binkley, C. (1990): On the Use of Period-Average Stumpage Prices to Estimate Forest Asset Pricing Models. *Land Economics* 66 (4): 379-393.
- Weber, M.-W. (2002): Portefeuille- und Real-Optionspreis-Theorie und forstliche Entscheidungen. *Schriften zur Forstökonomie* Band 23. Frankfurt am Main.
- Wenzelides, M., Hagemann, H., Schulte, A. (2006a): Mobilisierbare Holzpotenziale geringer als erwartet. *Holz-Zentralblatt* 132 (38): 1090.
- Wenzelides, M., Hagemann, H., Schulte, A. (2006b): Das neue Holzmaß ist ein Barrel-Äquivalent. *AFZ-DerWald* 61 (22): 1202-1206.
- Wiedemann, E. (1931): Rotbuchenertragstafel für mäßige Durchforstung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Auflage 1990: 119-127.
- Wiedemann, E. (1943): Kieffernertragstafel für mäßige Durchforstung. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): *Hilfstafeln für die Forstein-*

- richtung. Auflage 1990: 88-97.
- Wiedemann, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. Frankfurt.
- Wilhelm, G.J., Eisenbarth, E., Heidingsfeld, N. (2001): Hinweise zur Vorgehensweise bezüglich der Buchenerkrankung. AFZ-DerWald 56 (23): 1218-1219.
- Wilhelm, G.J., Letter, H.-A., Eder, W. (1999a): Die Phase der Qualifizierung. AFZ-DerWald 54 (5): 234-236.
- Wilhelm, G.J., Letter, H.-A., Eder, W. (1999b): Die Phase der Reife. AFZ-DerWald 54 (5): 239-240.
- Windisch, G. (2007): Mischwald und Klimaänderung. LWF Wissen 58: 50-54.
- Wippermann, C. (2005): Ökonomische Optimierung von Durchforstungen und Umtriebszeit: Eine modellgestützte Analyse am Beispiel der Kiefer. Schriften zur Forstökonomie Band 30. Frankfurt am Main.
- Wippermann, C., Möhring, B. (2001): Exemplarische Anwendung der Portefeuilletheorie zur Analyse eines forstlichen Investments. Forst und Holz 56 (9):267-272.
- Wöhe, G. (2005): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 22. Auflage. München: Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.
- Zhou, M., Buongiorno, J. (2004): Nonlinearity and noise interaction in a model of forest growth. Ecological Modelling 180: 291-304.
- Zieren, A. (1970): Zur Ästung von Esche und Eiche. AFZ 25 (36): 771-772.
- Zinkhan, F. (1988): Forestry Projects, Modern Portfolio Theory, and Discount Rate Selection. Southern Journal of Applied Forestry 12 (2): 132-135.
- Zinkhan, F.C., Sizemore, W.R., Mason, G.H., Ebner, T.J. (1992): Timberland Investments: A Portfolio Perspective. Oregon Timber Press.

10Anhang

Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie für die Betrachtung unterschiedlicher Risikomaße.

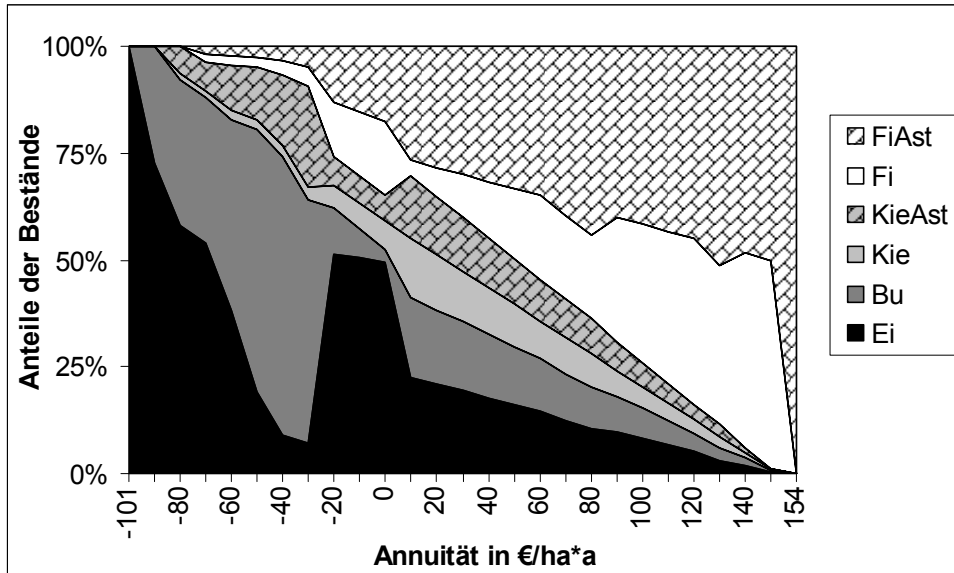


Abbildung 32 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus konventionell erzeugten Beständen für die Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit

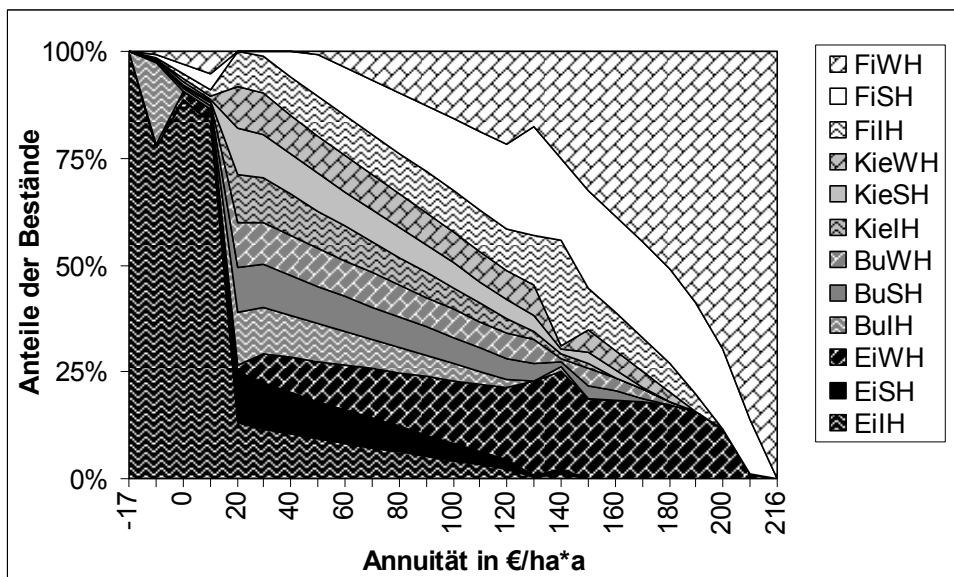


Abbildung 33 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus „optimierten“ Beständen für die Betrachtung der Verlustwahrscheinlichkeit

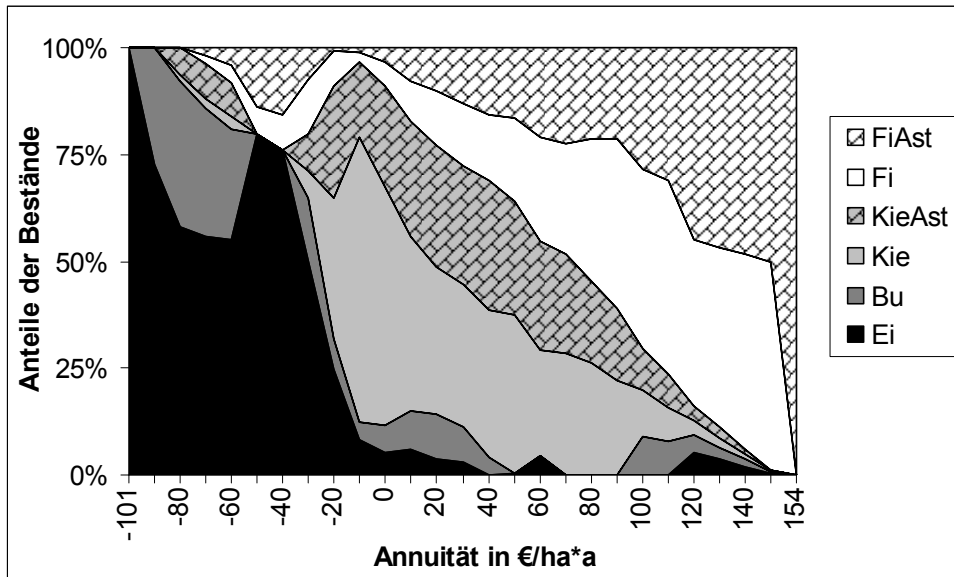


Abbildung 34 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus konventionell erzeugenen Beständen für die Betrachtung des Downside-Erwartungswertes

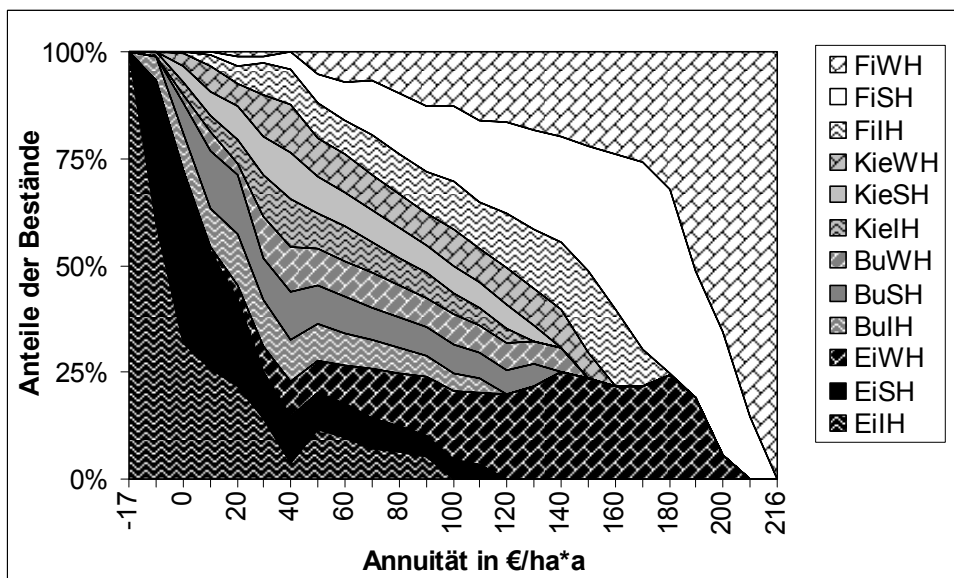


Abbildung 35 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus „optimierten“ Beständen für die Betrachtung des Downside-Erwartungswertes

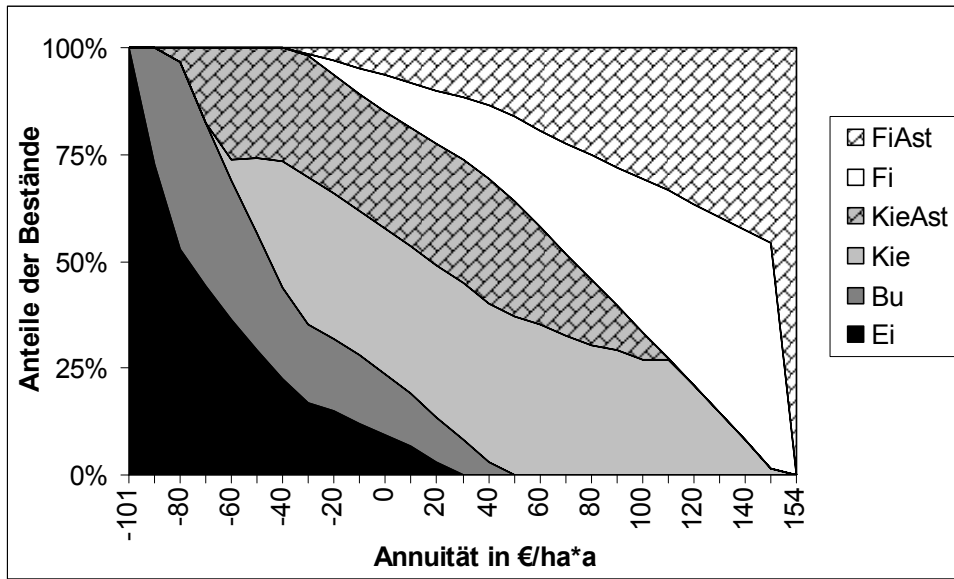


Abbildung 36 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus konventionell erzeugenen Beständen für die Betrachtung des Expected Shortfalls

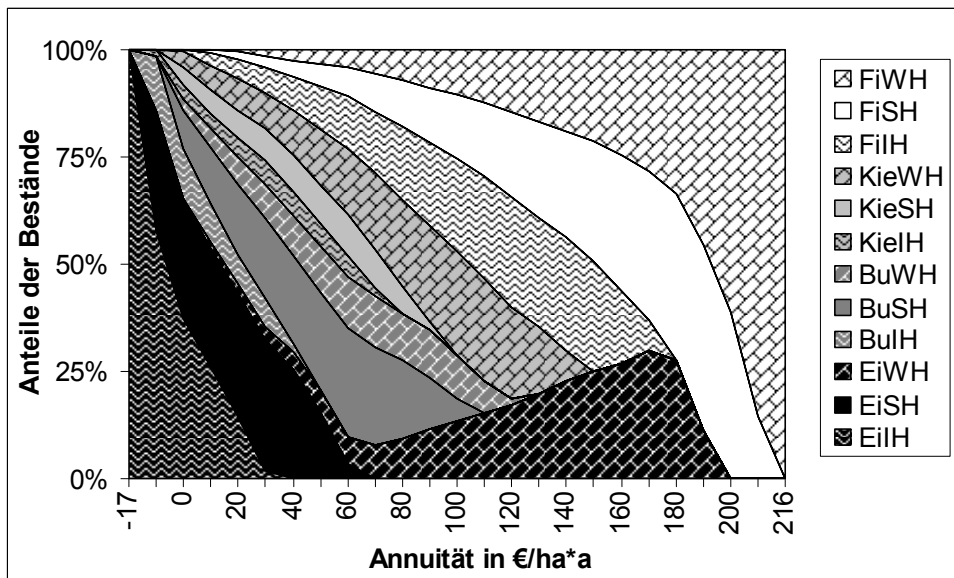


Abbildung 37 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus „optimierten“ Beständen für die Betrachtung des Expected Shortfalls

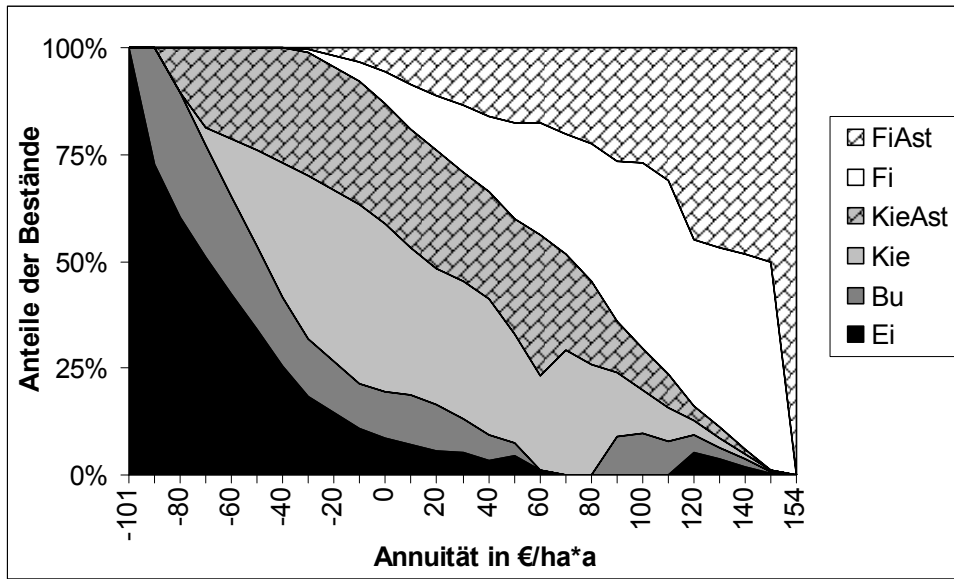


Abbildung 38 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus konventionell erzeugenen Beständen für die Betrachtung der Downside-Varianz

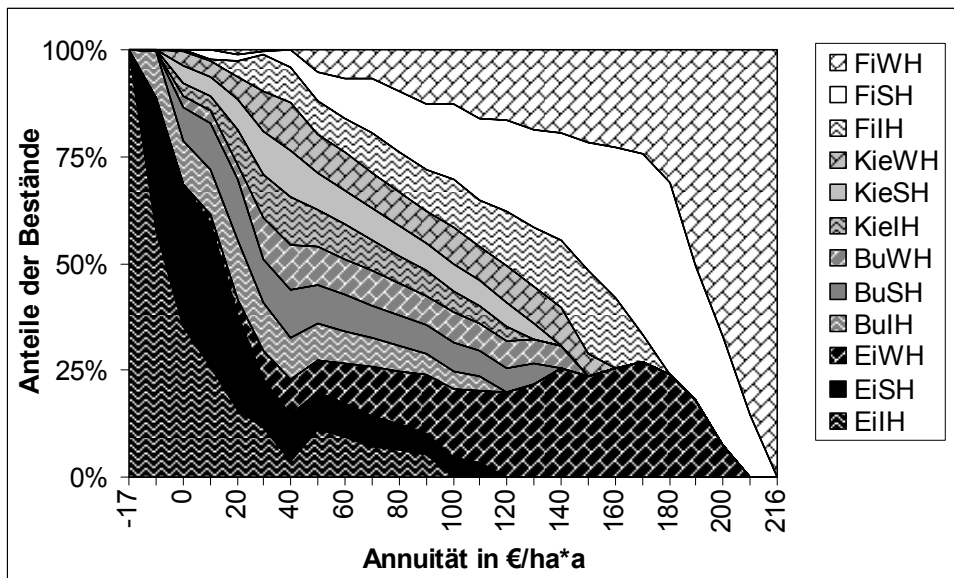


Abbildung 39 Zusammensetzung der Portfolios der Effizienzlinie aus „optimierten“ Beständen für die Betrachtung der Downside-Varianz