



**Integration des Realloptionsansatzes
in die risikoadjustierte Investitionsbewertung
bei Nichtfinanzunternehmen**

Heiko Hildebrandt

**Integration des Realoptionsansatzes
in die risikoadjustierte Investitionsbewertung
bei Nichtfinanzunternehmen**

Inauguraldissertation zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.)
an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät Ingolstadt
der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt

Eingereicht von
Heiko Hildebrandt

Datum der mündlichen Prüfung

11.07.2012

Referent

Prof. Dr. Dr. Anton Burger

Lehrstuhl für Allgemeine

Betriebswirtschaftslehre und

Unternehmensrechnung

Korreferentin

Prof. Dr. Dr. Christiana Djanani

Lehrstuhl für Allgemeine

Betriebswirtschaftslehre und

Betriebswirtschaftliche Steuerlehre

A. Inhaltsverzeichnis

A.	Inhaltsverzeichnis	III
B.	Abbildungsverzeichnis	VI
C.	Tabellenverzeichnis	VIII
D.	Abkürzungsverzeichnis	IX
E.	Symbolverzeichnis	XII
1.	Einführung	1
1.1.	Flexibilität als fehlende Dimension der risikoadjustierten Investitionsbewertung	1
1.2.	Struktur und Inhalt der Untersuchung	3
2.	Investitionsbewertung	6
2.1.	Dynamische Verfahren der Investitionsbewertung	6
2.1.1.	Kapitalwertverfahren	8
2.1.2.	Verfahren der internen Verzinsung	9
2.2.	Kapitalmarktmodelle	11
2.2.1.	Portefeuilletheorie	13
2.2.2.	Kapitalmarkttheorie	19
2.2.2.1	Kapitalmarktlinie	20
2.2.2.2	Wertpapierlinie	24
3.	(Real-)Optionsbasierte Investitionsbewertung	30
3.1.	Grundlagen der (Real-)Optionstheorie	30
3.2.	Realoptionstypologie	35
3.3.	Verfahren der realoptionsbasierten Investitionsbewertung	38
3.3.1.	Ereignisbaumverfahren	39
3.3.2.	Entscheidungsbaumverfahren	44
3.3.2.1	Erweiterungsoption	45
3.3.2.2	Einschränkungsoption	48
3.3.2.3	Abbruchsoption	50
3.3.2.4	Multiple Option	52
3.3.3.	Optionspreisverfahren	55
4.	Risikobewertung	59
4.1.	Risikokennzahlen	59

4.1.1.	Value at Risk	59
4.1.2.	Cash Flow at Risk.....	62
4.1.3.	Discounted Risk Value	65
4.2.	Verfahren der Risikobewertung	67
4.2.1.	Varianz-Kovarianz-Ansatz im Ein-Risikofaktor-Fall	69
4.2.2.	Varianz-Kovarianz-Ansatz im Mehr-Risikofaktoren-Fall	73
5.	Risikoadjustierte Investitionsbewertung.....	81
5.1.	Risikokalküle als Grundlage der risikoadjustierten Investitionsbewertung	81
5.1.1.	Risikotragfähigkeitskalkül.....	81
5.1.2.	Risiko-Chancen-Kalkül	82
5.2.	Risikoadjustierte Performancemessung	82
5.3.	Klassische risikoadjustierte Performancekennzahlen	83
5.3.1.	Ansatz von Jensen	84
5.3.2.	Ansatz von Treynor	85
5.3.3.	Ansatz von Sharpe.....	86
5.4.	Risikoadjustierte Performancekennzahlen in Finanzunternehmen	87
5.4.1.	Return on Risk Adjusted Capital.....	88
5.4.2.	Risk Adjusted Return on Capital.....	89
5.5.	Risikoadjustierte Performancekennzahlen in Nichtfinanzunternehmen .	92
5.5.1.	Corporate Value on Discounted Risk Value	93
5.5.2.	Risk Adjusted Net Present Value	95
5.6.	Anwendung von risikoadjustierten Performancekennzahlen	97
6.	Erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung.....	98
6.1.	Annahmen und Anwendungsvoraussetzungen.....	98
6.2.	Erweiterte, risikoadjustierte Performancemessung	100
6.3.	Eignung und Anwendungspotenziale.....	103
6.4.	Grenzen und kritische Würdigung	105
7.	Fallbeispiel: Investitionsprojekt „Offshore-Energiepark“	107
7.1.	Investitionsprojektbeschreibung.....	107
7.2.	Anlagentechnologiebeschreibungen.....	109
7.2.1.	Anlagentechnologiebeschreibung V112-3.0MW Offshore.....	109

7.2.2.	Anlagentechnologiebeschreibung PB150 PowerBuoy.....	110
7.2.3.	Anlagentechnologiebeschreibung SeaGen	111
7.3.	Investitionsprojektbewertung	112
7.3.1.	Kapitalwertbestimmung	113
7.3.2.	Realoptionswertbestimmung	123
7.3.3.	Risikowertbestimmung.....	136
7.4.	Investitionsprojektauswertung.....	147
8.	Fazit und Ausblick.....	151
F.	Anhang	XV
G.	Literaturverzeichnis.....	XVI
H.	Bildmaterialverzeichnis.....	XXIV
I.	Lebenslauf - Heiko Hildebrandt	XXV

B. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Struktur der Untersuchung.....	4
Abb. 2-1: Zusammenhang zwischen Rendite und Risiko im Zwei- Wertpapiere-Fall	16
Abb. 2-2: Zulässige und effiziente Wertpapierportefeuilles	17
Abb. 2-3: Graphische Bestimmung des optimalen Wertpapierportefeuilles	19
Abb. 2-4: Marktportefeuille und Kapitalmarktlinie	21
Abb. 2-5: Steigung der Kapitalmarktlinie.....	24
Abb. 2-6: Wertpapierlinie	28
Abb. 3-1: Asymmetrische Auszahlungsstrukturen einer Kaufoption	33
Abb. 3-2: Asymmetrische Auszahlungsstrukturen einer Verkaufsoption	34
Abb. 3-3: Realoptionstypologie	38
Abb. 3-4: Ereignisbaum (Ausschnitt)	42
Abb. 3-5: Erweiterungsoption (Ausschnitt).....	47
Abb. 3-6: Einschränkungsoption (Ausschnitt).....	50
Abb. 3-7: Abbruchsoption (Ausschnitt).....	52
Abb. 3-8: Multiple Option (Ausschnitt).....	53
Abb. 3-9: Wertbestimmende Faktoren von (Real-)Optionswerten.....	58
Abb. 4-1: Absoluter und relativer Value at Risk	62
Abb. 4-2: Aktienkursentwicklung der Stammaktien der RWE AG.....	70
Abb. 4-3: Aktienrenditen der Stammaktien der RWE AG	71
Abb. 4-4: Überleitungsrechnung zum absoluten Value at Risk.....	73
Abb. 4-5: Preisentwicklung von Hüttenaluminium	75
Abb. 4-6: Preisrenditen von Hüttenaluminium.....	75
Abb. 4-7: Wechselkursentwicklung €/ \$.....	76
Abb. 4-8: Wechselkursrenditen €/ \$	76
Abb. 4-9: Aggregation der Einzelrisiken einer Risikoposition.....	79
Abb. 6-1: Entwicklungsstufen des Extended Risk Adjusted Net Present Value	101
Abb. 7-1: Einzel- und Windenergieparkinstallation der V112-3.0MW Offshore-Anlagentechnologie	110

Abb. 7-2: Einzel- und Wellenenergieparkinstallation der PB150 PowerBuoy-Anlagentechnologie	111
Abb. 7-3: Einzel- und Meeresströmungsenergieparkinstallation der SeaGen-Anlagentechnologie	112
Abb. 7-4: Ereignisbaum des Offshore-Windenergieprojekts (Ausschnitt).....	127
Abb. 7-5: Ereignisbaum des Wellenenergieprojekts (Ausschnitt).....	128
Abb. 7-6: Ereignisbaum des Meeresströmungsenergieprojekts (Ausschnitt)...	128
Abb. 7-7: Rekursive Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts des Offshore-Windenergieparks (Ausschnitt).....	134
Abb. 7-8: Rekursive Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts des Wellenenergieparks (Ausschnitt).....	134
Abb. 7-9: Rekursive Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts des Meeresströmungsenergieparks (Ausschnitt).....	135
Abb. 7-10: Vergleich der Investitionsprojektkennzahlen.....	149
Abb. 7-11: Vergleich der Investitionsprojektrangfolgen.....	149

C. Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Korrelationsgrade, -verhalten und -koeffizienten.....	15
Tab. 7-1: Investitionsprojektkosten der Planungs- und Bauphase	118
Tab. 7-2: Investitionsprojektkosten der Betriebsphase	121

D. Abkürzungsverzeichnis

<i>ABO</i>	Abbruchsoption
<i>AP</i>	Absatzpreis
<i>BAP</i>	Bauphase
<i>BEP</i>	Betriebsphase
<i>BLS</i>	Baseload-Strom
<i>BSZ</i>	Betriebsstundenzahl
<i>CAPM</i>	Capital Asset Pricing Model
<i>CF</i>	Cash Flow
<i>CFaR</i>	Cash Flow at Risk
<i>CV</i>	Corporate Value
<i>CVODRV</i>	Corporate Value on Discounted Risk Value
<i>DCF</i>	Discounted Cash Flow
<i>DCFaR</i>	Discounted Cash Flow at Risk
<i>DRV</i>	Discounted Risk Value
<i>EEX</i>	European Energy Exchange
<i>EIO</i>	Einschränkungsoption
<i>EK</i>	Eigenkapital
<i>ENPV</i>	Extended Net Present Value
<i>ERANPV</i>	Extended Risk Adjusted Net Present Value
<i>ERO</i>	Erweiterungsoption
<i>EVA</i>	Economic Value Added
<i>FCF</i>	Free Cash Flow

<i>GL</i>	Gesamtleistung
<i>GNL</i>	Gesamtnennleistung
<i>GU</i>	Gesamtunternehmen
<i>IP</i>	Investitionsprojekt(e)
<i>IPAZ</i>	Investitionsprojektauszahlung(en)
<i>IPEZ</i>	Investitionsprojekteinzahlung(en)
<i>IPK</i>	Investitionsprojektkosten
<i>IPP</i>	Investitionsprojektportefeuille(s)
<i>IPÜS</i>	Investitionsprojektüberschuss
<i>KF</i>	Kapazitätsfaktor
<i>KonTraG</i>	Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich
<i>LME</i>	London Metal Exchange
<i>MP</i>	Marktportefeuille
<i>MSEP</i>	Meeresströmungsenergiepark
<i>MUO</i>	Multiple Option
<i>NPV</i>	Net Present Value
<i>NYMEX</i>	New York Mercantile Exchange
<i>OEP</i>	Offshore-Energiepark
<i>OWIEP</i>	Offshore-Windenergiepark
<i>PLP</i>	Planungsphase
<i>RANPV</i>	Risk Adjusted Net Present Value
<i>RAPM</i>	Risk Adjusted Performance Measurement
<i>RAROC</i>	Risk Adjusted Return on Capital

<i>RAROC i.e.S.</i>	Risk Adjusted Return on Capital im engeren Sinne
<i>RAROC i.w.S.</i>	Risk Adjusted Return on Capital im weiteren Sinne
<i>RARORAC</i>	Risk Adjusted Return on Risk Adjusted Capital
<i>RK</i>	Risikokapital
<i>ROE</i>	Return on Equity
<i>ROI</i>	Return on Investment
<i>RORAC</i>	Return on Risk Adjusted Capital
<i>ROV</i>	Real Options Value
<i>RP</i>	Risikoposition
<i>RV</i>	Risk Value
<i>RVO</i>	Risikovolumen
<i>RW</i>	Risikowert
<i>SZ</i>	Subventionszuschuss
<i>VaR</i>	Value at Risk
<i>WACC</i>	Weighted Average Cost of Capital
<i>WEPP</i>	Wellenenergiepark
<i>WF</i>	Wechselwirkung der Flexibilität
<i>WK</i>	Wechselkurs
<i>WP</i>	Wertpapierportefeuille(s)

E. Symbolverzeichnis

a	Anteil eines Wertpapiers an einem Wertpapierportefeuille
A	Auszahlung(en)
B	Basispreis
c	Optionsprämie einer Kaufoption
C	Optionswert einer Kaufoption
C_d	Optionsgewinn / -verlust einer Kaufoption
C_{in}	Innerer Wert einer Kaufoption
cov_{fg}	Kovarianz zwischen Wertpapier f und Wertpapier g
d	Abwärtsbewegung (<i>down</i> -Faktor)
e	Eulersche Zahl
E	Einzahlung(en)
f, F und g, G	Anzahl der Wertpapiere eines Wertpapierportefeuilles
h, H	Anzahl der Geschäftsbereiche eines Unternehmens
i, I	Anzahl der Zeitperioden Δt
j, J	Anzahl der Knoten
JA_{WP}	Jensens Alpha eines Wertpapierportefeuilles
k	Erweiterungsfaktor
K	Erweiterungsaufwendungen
L	Liquidationserlös
m	Einschränkungsfaktor
M	Einschränkungserträge
n, N	Anzahl der Investitionsprojekte

$N(.)$	(Standard-)Normalverteilung
o	Risikoanteil
p	Optionsprämie einer Verkaufsoption
P	Optionswert einer Verkaufsoption
$P(.)$	Verteilungsfunktion
P_d	Optionsgewinn / -verlust einer Verkaufsoption
P_{in}	Innerer Wert einer Verkaufsoption
q	Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Aufwärtsbewegung u
$1 - q$	Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit einer Abwärtsbewegung d
r	Zinssatz
$(1 + r)^{-t}$	Diskontfaktor
r_{EK}	Eigenkapitalkostensatz
r_f	Risikoloser Zinssatz
r_{FK}	Fremdkapitalkostensatz
r_{int}	Interner Zinssatz
s	Steuersatz
S	Basiswert
SM_{WP}	Sharpe-Maß eines Wertpapierportefeuilles
t, T	Zeit
Δt	Länge einer Zeitperiode
TM_{WP}	Treynor-Maß eines Wertpapierportefeuilles
u	Aufwärtsbewegung (up -Faktor)

U	Umweltzustand
v, V und w, W	Risikofaktor(en)
V_{EK}	Marktwert des Eigenkapitals (Shareholder Value)
V_{FK}	Marktwert des Fremdkapitals
x, X	Wert einer Risikoposition
z, Z	Standardisierter Wert einer Risikoposition
α	Konfidenzniveau
β	Beta
δ	Korrelationskoeffizient
Δ	Sensitivität
μ	Erwartungswert
σ	Standardabweichung
σ^2	Varianz
Ω	Korrelationskoeffizientenmatrix
Φ	Isonutzenfunktion
\mathbb{N}	Menge aller natürlichen Zahlen
£	Britisches Pfund Sterling
€	Europäische Einheitswährung Euro
\$	United States Dollar

1. Einführung

Im Rahmen dieser Arbeit zum Thema der Integration des Realloptionsansatzes in die risikoadjustierte Investitionsbewertung bei Nichtfinanzunternehmen steht das Verhältnis von Ertrag, Risiko und Flexibilität im Mittelpunkt der Betrachtung. Durch die Zusammenführung dieser drei Erfolgsfaktoren zu einer Steuerungskennzahl soll die Transparenz und Qualität von Investitionsprojektsentscheidungen signifikant erhöht werden. Die konzeptionelle und mathematische Ausgestaltung dieser Steuerungskennzahl basiert auf den Erkenntnissen der dynamischen Investitionsbewertung, risikoadjustierten Performancemessung und Realloptionstheorie.

1.1. Flexibilität als fehlende Dimension der risikoadjustierten Investitionsbewertung

Der Ertrag als Determinante des Erfolgs unterliegt in Finanz- und Nichtfinanzunternehmen einer präzisen Bewertung und Steuerung, sei es durch einfache oder dynamische Verfahren der Investitionsbewertung. Um Erträge zu erwirtschaften, gehen Unternehmen oftmals erhebliche, manchmal sogar existenzgefährdende Risiken ein. Segelmann bringt die Bedeutung des Risikos für den Unternehmenserfolg auf den Punkt, indem er das Risiko als immanentes Wesensmerkmal des Wirtschaftslebens und die Risikoübernahme als konstituierendes Element einer Unternehmung bezeichnet.¹ Vor diesem Hintergrund wurden im Bereich der Risikobewertung in den letzten Jahren, nicht zuletzt durch die Verabschiedung des Gesetzes zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (*KonTraG*), sowohl auf wissenschaftlicher als auch auf Unternehmensebene beachtliche Fortschritte erzielt. Das *KonTraG* sieht im Kern die Einrichtung eines Überwachungssystems zur frühzeitigen Erkennung bestandsgefährdender Entwicklungen durch den Vorstand vor,² räumt den Unternehmen bei der Umsetzung allerdings erhebliche Freiheiten ein. Die Normen und standardisierten Risikokennzahlen wurden zunächst für Finanzunternehmen entwickelt und erst später auf die Bedürfnisse von Nichtfinanzunternehmen angepasst, was den deutlich geringeren Anwendungsgrad von Risikokennzahlen bei Nichtfinanzunternehmen erklärt.

¹ Vgl. Segelmann (1959), S. 5-7.

² Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 235.

Im Zuge der Globalisierung und Marktkonsolidierung in vielen Branchen und des daraus resultierenden verschärften Wettbewerbs entscheiden häufig nicht mehr allein hohe Ertragserwartungen und das Eingehen von kalkulierten Risiken über den Erfolg oder Misserfolg eines Projekts bzw. Unternehmens, sondern immer öfter die Fähigkeit des Managements Handlungsflexibilitäten zu erkennen, zu schaffen und zu bewahren. Während Finanzunternehmen Optionsgeschäfte, die den Handel mit Flexibilität instrumentalisieren, über institutionalisierte Märkte abwickeln, scheitert dieses Vorhaben bei Nichtfinanzunternehmen bereits im Ansatz. Zwar wurde mit der Realoptionstheorie, dem realwirtschaftlichen Äquivalent zur finanzwirtschaftlichen Optionstheorie, eine wissenschaftliche Fundierung geschaffen, allerdings zeichnet sich diese durch ein hohes Maß an (mathematischer) Komplexität aus. Ferner wird die Entscheidung von Nichtfinanzunternehmen für die realoptionsbasierte Investitionsbewertung durch die mangelnden unternehmensspezifischen Anpassungsmöglichkeiten und die fehlende Operationalisierbarkeit zusätzlich erschwert.

Ogleich der Signifikanz von Risiko und Flexibilität für den Projekt- und Unternehmenserfolg, erfolgt die Bewertung beider Faktoren bei Nichtfinanzunternehmen nur unzureichend. Da überrascht es nicht, dass sich bislang weder die risikoadjustierte Investitionsbewertung noch deren Erweiterung um die Flexibilitätsbetrachtung bei Nichtfinanzunternehmen durchgesetzt haben. Die notwendigen Risiko- und Flexibilitätskennzahlen werden nicht erhoben und können somit auch nicht mit den vorhandenen Ertragskennzahlen verknüpft werden. Infolgedessen finden zwei der drei Erfolgsdimensionen bislang nur selten Berücksichtigung im Entscheidungsprozess. Um daraus resultierende Fehlentscheidungen zu vermeiden, bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtung mit einer einzigen, umfassenden, integrierten Spitzenkennzahl als Ergebnis. Die Existenz einer solchen Spitzenkennzahl vorausgesetzt hängt deren Akzeptanz, Diffusion und Weiterentwicklung maßgeblich von deren Implementierbarkeit in der Praxis ab.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Ansatz zur erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung und darauf aufbauend ein nachvollziehbares Modell zu dessen operativer Anwendung zu entwickeln. Auf diesem Wege soll es den Entscheidern in Unternehmen ermöglicht werden, neben dem Projektertrag auch das Projektrisiko und die Projektflexibilität als Entscheidungskriterien mit einzubeziehen.

1.2. Struktur und Inhalt der Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung zum Themenbereich der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung bei Nichtfinanzunternehmen gliedert sich in acht Kapitel. Wie zuvor dargelegt erfolgt im ersten, einführenden Kapitel eine kritische Reflektion des Status der Anwendung und Anwendbarkeit der risikoadjustierten Investitionsbewertung in Verbindung mit realoptionstheoretischen Ansätzen bei Nichtfinanzunternehmen. Die daraus abgeleitete Notwendigkeit zur Integration unternehmerischer Handlungsflexibilität in die operative, risikoadjustierte Investitionsbewertung und -steuerung bei Nichtfinanzunternehmen bildet den Ausgangspunkt der weiteren Überlegungen. Vor dem Hintergrund der Problemstellung in Kapitel eins werden sowohl die Struktur als auch der Inhalt der Kapitel zwei bis sieben aus den Determinanten des Projekt- bzw. Unternehmenserfolgs (Ertrag, Risiko, Flexibilität) und deren Verknüpfung (Adjustierung, Integration) abgeleitet. Durch diesen Aufbau soll der Leser schrittweise an die (mathematisch) komplexe Thematik der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung im Allgemeinen und die Zusammensetzung der Spitzenkennzahl sowie die Logik des Fallbeispiels im Speziellen herangeführt werden.

Im zweiten Kapitel werden hierzu zunächst die Grundlagen der Investitionsbewertung bei Finanz- und Nichtfinanzunternehmen thematisiert. Diese Ausführungen bilden die Grundlage für die spätere Berechnung des Investitionsprojektkapitalwerts im Rahmen des Fallbeispiels. Die (real-)optionsbasierte Investitionsbewertung, mit deren Hilfe die Investitionsprojektflexibilität bestimmt werden kann, wird in Kapitel drei vorgestellt. Im Kapitel vier wird die Risikobewertung bei Finanz- und Nichtfinanzunternehmen erläutert, wobei die Erkenntnisse zur Quantifizierung des Investitionsprojektrisikos herangezogen werden. Das fünfte Kapitel beschäftigt sich mit der Verknüpfung von Ertrag und Risiko bei Finanz- und Nichtfinanzunternehmen. Der risikoadjustierten Investitionsbewertung kommt bei der Zusammensetzung der Spitzenkennzahl bzw. der Berechnung des risikoadjustierten Investitionsprojektkapitalwerts eine zentrale Bedeutung zu. Im sechsten Kapitel werden die Erkenntnisse der Kapitel zwei bis fünf in der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung zusammengeführt. Im Zuge dessen erfolgt die Integration von Investitionsbewertung und Realoptionstheorie mit dem Resultat der Erweiterung des

Investitionsprojektkapitalwerts um die Investitionsprojektflexibilität. Die Adjustierung dieses erweiterten Investitionsprojektkapitalwerts mittels des Investitionsprojektrisikos führt im Ergebnis zum erweiterten, risikoadjustierten Investitionsprojektkapitalwert. Diese Steuerungskennzahl stellt das Gesamtergebnis der Untersuchung dar. Aufgrund der Eigenschaften von Realloptionen beschränkt sich der Unternehmensgegenstand, im Gegensatz zu den vorherigen Kapiteln, auf Nichtfinanzunternehmen. Die praktische Umsetzung der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung wird anhand des Fallbeispiels „Investitionsprojekt Offshore-Energiepark“ in Kapitel sieben veranschaulicht. Nachfolgend werden der Aufbau und die Struktur der Untersuchung in Abb. 1-1 dargestellt.

Kapitel	Kapitelüberschrift	Erfolgsfaktoren			Steuerungskennzahlen						
		Ertrag	Flexibilität	Risiko							
1	Einführung	0	0	0	0						
2	Investitionsbewertung	✓	x	x	<table border="1"> <tr> <td>Ertrag</td> <td>+</td> <td>Flexibilität</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Risiko</td> </tr> </table>	Ertrag	+	Flexibilität	Risiko		
Ertrag	+	Flexibilität									
Risiko											
3	(Real-)Optionsbasierte Investitionsbewertung	x	✓	x	<table border="1"> <tr> <td>Ertrag</td> <td>+</td> <td>Flexibilität</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Risiko</td> </tr> </table>	Ertrag	+	Flexibilität	Risiko		
Ertrag	+	Flexibilität									
Risiko											
4	Risikobewertung	x	x	✓	<table border="1"> <tr> <td>Ertrag</td> <td>+</td> <td>Flexibilität</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Risiko</td> </tr> </table>	Ertrag	+	Flexibilität	Risiko		
Ertrag	+	Flexibilität									
Risiko											
5	Risikoadjustierte Investitionsbewertung	✓	x	✓	<table border="1"> <tr> <td>Ertrag</td> <td>+</td> <td>Flexibilität</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Risiko</td> </tr> </table>	Ertrag	+	Flexibilität	Risiko		
Ertrag	+	Flexibilität									
Risiko											
6	Erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung	✓	✓	✓	<table border="1"> <tr> <td>Ertrag</td> <td>+</td> <td>Flexibilität</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Risiko</td> </tr> </table>	Ertrag	+	Flexibilität	Risiko		
Ertrag	+	Flexibilität									
Risiko											
7	Fallbeispiel: Investitionsprojekt „Offshore-Energiepark“	✓	✓	✓	<table border="1"> <tr> <td>Ertrag</td> <td>+</td> <td>Flexibilität</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Risiko</td> </tr> </table>	Ertrag	+	Flexibilität	Risiko		
Ertrag	+	Flexibilität									
Risiko											
8	Fazit und Ausblick	0	0	0	0						

0 nicht anwendbar ✓ wird thematisiert x wird nicht thematisiert
 □ kein Bestandteil ■ Bestandteil ■ Bestandteil (optional)

Abb. 1-1: Struktur der Untersuchung.

Quelle: Eigene Darstellung.

Im abschließenden Kapitel acht werden die Ergebnisse des theoretischen und praktischen Teils der Untersuchung zusammengefasst. Im Rahmen des Ausblicks werden Weiterentwicklungsmöglichkeiten des erweiterten, risikoadjustierten Investitionsprojektkapitalwerts aufgezeigt. Der Anhang besteht aus einer Microsoft Excel-

Datei, anhand derer die Berechnungen der Kapitel drei, vier und sieben detailliert nachvollzogen werden können.

2. Investitionsbewertung

Im Rahmen der Betrachtungen zur Investitionsbewertung bei Sicherheit steht das Kapitalwertverfahren als dynamisches Verfahren zur Bestimmung des Investitionserfolgs im Mittelpunkt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen beschäftigt sich das Kapitalmarktmodell mit Lösungsansätzen zur Investitionsbewertung unter Unsicherheit. Mittels der Portefeuilletheorie wird dabei das Verhalten rationaler, risikoscheuer Entscheider in Bezug auf risikobehaftete Portefeuilles erläutert. Vor diesem Hintergrund ermöglicht die Kapitalmarkttheorie die Bewertung des Risikos auf vollkommenen Kapitalmärkten mit dem Ziel der Renditebestimmung für die Risikoübernahme im Kapitalmarktgleichgewicht.

2.1. Dynamische Verfahren der Investitionsbewertung

Dynamische bzw. finanzmathematische Verfahren der Investitionsrechnung verfolgen das Ziel, Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von Investitionsentscheidungen treffen zu können.³ Im Gegensatz zu einperiodisch-statischen Verfahren werden im Rahmen von dynamischen Verfahren die finanziellen Auswirkungen einer Investitionsentscheidung über den gesamten Investitionszeitraum T hinweg quantifiziert und evaluiert. Grundsätzlich lassen sich Investitionen durch die nachfolgenden Parameter charakterisieren:

- A_0 Anfangsinvestition zum Zeitpunkt t_0
- E_i Einzahlung(en) der Zeitperiode i
- A_i Auszahlung(en) der Zeitperiode i
- L_I Liquidationserlös der Zeitperiode I
- r Zinssatz

Die Grundlage der Vorteilsbetrachtung bilden die zu prognostizierenden Zahlungsreihen innerhalb des Investitionszeitraums. Um Investitionen mit unterschiedlicher Laufzeit vergleichbar zu machen, werden die zeitperiodenspezifischen Rückflüsse ($E_i - A_i$) auf den Zeitpunkt t_0 abgezinst.⁴ Dabei spiegelt sich die Zeitpräferenz eines Investors in der Höhe des Zinssatzes

³ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 600f.

⁴ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 45f.

wider, wobei gilt: je höher der Zinssatz umso höher die Gegenwartspräferenz des Investors.⁵ Der Zinssatz kann dabei als (Mindest-)Verzinsungsanspruch des Investors für das eingegangene Risiko interpretiert werden.⁶ Die Höhe der Kapitalkosten ist abhängig vom Sollzins bei Fremdfinanzierung und Habenzins bei Eigenfinanzierung. Unter dem Habenzins versteht man die Verzinsung einer Alternativanlage des Eigenkapitals. In beiden Fällen spricht man auch von den Opportunitätskosten einer Investition.

Das Grundmodell der Investitionsrechnung basiert auf der Prämisse eines vollkommenen Kapitalmarkts, auf dem vereinfachend unterstellt wird, dass ein Investor

- während des gesamten Investitionszeitraums
- jeden beliebigen Geldbetrag
- zu einem einheitlichen Zinssatz

ausleihen bzw. anlegen kann. Mit anderen Worten, der Zinssatz stellt eine von Eigen- und Fremdfinanzierung unabhängige Größe dar. Das Problem abweichender und im Zeitablauf schwankender Soll- und Habenzinsen wird bewusst ausgeblendet.

Im Folgenden werden das Kapitalwertverfahren und das Verfahren der internen Verzinsung als Methoden der dynamischen Investitionsrechnung vorgestellt.⁷ Das Ziel dieser Verfahren ist es, die Vorteilhaftigkeit einer Einzelinvestition bzw. die Priorisierung mehrerer, sich gegenseitig ausschließender Investitionen zu ermitteln.⁸ Annahmegemäß basieren die Überlegungen auf einem Modell unter Sicherheit, d.h. zum Zeitpunkt t_0 werden die zukünftigen Zahlungsreihen und der Investitionszeitraum als bekannt unterstellt.⁹

⁵ Vgl. ebenda, S. 44; Döring/Wöhe (2005), S. 601f.

⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 602f.

⁷ Vgl. Gackstatter et. al (2001), S. 50.

⁸ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 602.

⁹ Vgl. ebenda, S. 602; Gackstatter et. al (2001), S. 50.

2.1.1. Kapitalwertverfahren

Das Kapitalwertverfahren ermittelt den Kapitalwert bzw. Nettobarwert (Net Present Value, *NPV*) einer zukünftigen Investition durch die Abzinsung der Zahlungsreihen auf den gegenwärtigen Zeitpunkt t_0 .¹⁰ Gemäß dieser Methode besteht zwischen der Vorteilhaftigkeit einer Investition und dem Kapitalwert zum Zeitpunkt t_0 folgender Zusammenhang:¹¹

- $NPV > 0 \rightarrow$ Investition vorteilhaft
- $NPV = 0 \rightarrow$ Entscheidungsindifferenz
- $NPV < 0 \rightarrow$ Investition unvorteilhaft

Im Fall mehrerer, konkurrierender Investitionsalternativen ist die Investition mit dem höchsten nicht-negativen Kapitalwert zu verwirklichen.¹²

Der im Rahmen des Kapitalwertverfahrens gewählte Bezugszeitpunkt t_0 entspricht dem Zeitpunkt der Anfangsinvestition.¹³ Dabei wird der jeweilige Betrachtungszeitpunkt t von der Anzahl der Zeitperioden i und von der Länge einer Zeitperiode Δt determiniert.

$$t = i \cdot \Delta t$$

Analog dazu wird der Investitionszeitraums T durch die folgende Gleichung bestimmt, wobei I die Anzahl aller von der Investition umfassten Zeitperioden darstellt:

$$T = I \cdot \Delta t$$

Bei der Ermittlung des Kapitalwerts wird unterstellt, dass die zeitperiodenspezifischen Einzahlungen und Auszahlungen sowie der Liquidationserlös vollständig auf den Anfang der jeweiligen Zeitperiode entfallen. Dadurch wird das Problem der zeitanteiligen (pro rata temporis) Abzinsung vermieden. Durch die Diskontierung der zeitperiodenspezifischen Zahlungen mit dem Diskontfaktor auf den Zeitpunkt

¹⁰ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 46.

¹¹ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 603.

¹² Vgl. ter Horst (2009), S. 58; Heinen (1992), S. 230; ebenda (2005), S. 603.

¹³ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 603.

t_0 werden diese gleichnamig gemacht.¹⁴ Die allgemeine Formel zur Berechnung des Kapitalwerts lautet:¹⁵

$$NPV = \sum_{i=1}^I \frac{(E_{i \cdot \Delta t} - A_{i \cdot \Delta t})}{(1+r)^{i \cdot \Delta t}} = \sum_{t=1}^T \frac{(E_t - A_t)}{(1+r)^t}$$

Bei Ausgliederung der Anfangsinvestition und des Liquidationserlöses gilt:¹⁶

$$\begin{aligned} NPV &= -A_0 + \sum_{i=1}^I \left[\frac{(E_{i \cdot \Delta t} - A_{i \cdot \Delta t})}{(1+r)^{i \cdot \Delta t}} + \frac{L_{I \cdot \Delta t}}{(1+r)^{I \cdot \Delta t}} \right] = \\ &= -A_0 + \sum_{t=1}^T \left[\frac{(E_t - A_t)}{(1+r)^t} + \frac{L_T}{(1+r)^T} \right] \end{aligned}$$

Der Kapital- bzw. Gegenwartswert einer Investition verringert sich *ceteris paribus* mit steigendem Zinssatz.¹⁷ Ein positiver Kapitalwert gibt den Betrag an, der einem Investor zum Zeitpunkt t_0 gezahlt werden müsste, um auf die Realisierung der Investition zu verzichten. Im umgekehrten Fall gibt ein negativer Kapitalwert den Betrag an, den ein Investor in t_0 als Subvention erhalten müsste, um die Investition gerade noch zu tätigen. Entscheidet sich ein Investor für die Durchführung der Investition, spiegelt der positive Kapitalwert den Reinvermögenszuwachs zum Zeitpunkt t_0 nach Abzug der Kapitalkosten wider. Im Fall der Fremdfinanzierung entsprechen die Kapitalkosten den Fremdkapitalzinsen und bei Eigenfinanzierung den entgangenen Zinsen der Alternativanlage des Eigenkapitals.

2.1.2. Verfahren der internen Verzinsung

Mittels des Verfahrens der internen Verzinsung wird der interne Zinssatz r_{int} des durchschnittlich gebundenen Kapitals ermittelt.¹⁸ Im Fall eines Kapitalwerts von null entspricht der interne Zinssatz gerade dem Zinssatz r .¹⁹ Dementsprechend er-

¹⁴ Vgl. ebenda, S. 603; Rolfes (2003), S. 10.

¹⁵ In Anlehnung an Perridon/Steiner (2007), S. 45f.

¹⁶ In Anlehnung an ebenda, S. 46.

¹⁷ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 604f.

¹⁸ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 48; ebenda, S. 608.

¹⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 608.

wirtschaftet eine Investition mit einem positiven (negativen) Kapitalwert einen internen Zinssatz der über (unter) dem Zinssatz r liegt. Zur Berechnung der internen Verzinsung wird der Kapitalwert gleich null gesetzt und die Gleichung nach dem internen Zinssatz aufgelöst.²⁰

$$0 = \sum_{t=1}^T \frac{(E_t - A_t)}{(1 + r_{int})^t}$$

Werden die Anfangsinvestition und der Liquidationserlös ausgegliedert, stellt sich der analytische Zusammenhang wie folgt dar:²¹

$$0 = -A_0 + \sum_{t=1}^T \left[\frac{(E_t - A_t)}{(1 + r_{int})^t} + \frac{L_T}{(1 + r_{int})^T} \right]$$

Aufgrund der Tatsache, dass es sich um eine Gleichung n-ten Grades handelt, lässt sich meist ab den Polynomen dritten Grades, d.h. bei drei oder mehr Zeitperioden, keine analytische Lösung mehr ermitteln. Für diesen Fall wird auf numerische Verfahren, wie die lineare Interpolation, zurückgegriffen, um den internen Zinssatz approximativ zu bestimmen. Die Vorteilhaftigkeit einer Investition ergibt sich aus der Gegenüberstellung des Investitionsnutzens in Form des internen Zinssatzes und der Kapitalkosten in Form des Zinssatzes r .²² Hierbei kommt folgende Entscheidungsregel zur Anwendung:²³

- $r_{int} > r \rightarrow$ Investition vorteilhaft
- $r_{int} = r \rightarrow$ Entscheidungsindifferenz
- $r_{int} < r \rightarrow$ Investition unvorteilhaft

Im Fall sich gegenseitig ausschließender Investitionen sollte der Investor dem Projekt mit dem höchsten nicht-negativen internen Zinssatz den Vorzug geben. Ökonomisch kann der interne Zinssatz als Rendite einer Investition interpretiert werden, wobei er im Fall vollständiger Eigenfinanzierung die Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals zeigt. Demgegenüber gibt er bei vollständiger Fremdfinanzierung an,

²⁰ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 48; ebenda (2005), S. 609; Rolfes (2003), S. 12.

²¹ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 48.

²² Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 609; ebenda (2007), S. 50.

²³ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 609.

bis zu welchem Fremdkapitalzinsniveau sich die Realisierung einer Investition gerade noch lohnt.

Aufgrund der mathematischen Struktur der Gleichung n-ten Grades mit grundsätzlich n Lösungen ist die Anwendung des Verfahrens der internen Verzinsung zur Ermittlung der Vorteilhaftigkeit einer Investition abhängig von der Struktur der Zahlungsreihe.²⁴ Weist eine Zahlungsreihe lediglich einen Vorzeichenwechsel auf, d.h. die Auszahlungsüberschüsse ($E_t < A_t$) liegen zusammenhängend in den ersten Zeitperioden, während die letzten Zeitperioden durch zusammenhängende Einzahlungsüberschüsse ($E_t > A_t$) gekennzeichnet sind, spricht man von einer sog. „Normalinvestition“ bzw. „Standard-Zahlungsreihe“.²⁵ Wenn die Summe der diskontierten, zeitperiodenspezifischen Einzahlungsüberschüsse die kumulierten, diskontierten Überschüsse der anfänglichen Auszahlungsphase übersteigt, besitzt die Normalinvestition einen positiven internen Zinssatz.²⁶ Mit steigender Anzahl an Vorzeichenwechseln innerhalb der Zahlungsreihe nimmt die Aussagefähigkeit des internen Zinssatzes ab.²⁷ Unter bestimmten Voraussetzungen lassen sich für eine solche Investition entweder kein interner Zinssatz (Nichtexistenz) oder eine Vielzahl interner Zinssätze (Mehrdeutigkeit) ermitteln.²⁸

2.2. Kapitalmarktmodelle

Risikoscheue, rational handelnde Investoren erwarten für die Risikoübernahme eine angemessene Vergütung, die sich mit zunehmendem Risiko sukzessive erhöht.²⁹ In den bisherigen Ausführungen wurde unterstellt, dass die zur Ermittlung der durchschnittlichen Kapitalkosten verwendeten Zinssätze r_{FK} (Fremdkapital) und r_{EK} (Eigenkapital) vom Markt vorgegeben werden. Mit Hilfe kapitalmarkttheoretischer Modelle wird nun die Bewertung der Risikoübernahme auf vollkomme-

²⁴ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 50; ebenda, S. 609.

²⁵ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 50f.; Rolfes (2003), S. 9.

²⁶ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 50f.

²⁷ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 609.

²⁸ Vgl. ebenda, S. 609; Perridon/Steiner (2007), S. 50f.

²⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 751.

nen Kapitalmärkten erklärt, um auf dieser Grundlage die Fremd- und Eigenkapitalkostensätze zu ermitteln. Die Kapitalmarktmodelle beruhen dabei auf der Gültigkeit der zentralen Annahmen der Theorie des Kapitalmarktgleichgewichts:³⁰

- (1) Die Investoren sind risikoscheu und handeln rational, d.h. sie sind bestrebt, den Risikonutzen am Ende der Planperiode zu maximieren, wobei implizit ein Einperiodenmodell zugrunde gelegt wird.
- (2) Die Investoren haben homogene Erwartungen im Hinblick auf Erwartungswert, Standardabweichung und Kovarianz der normalverteilten Wertpapierrenditen. Von den Marktpreisen der Wertpapiere wird angenommen, dass sie nicht individuell beeinflussbar sind.
- (3) Es besteht die Möglichkeit einer unbeschränkten, risikolosen Geldanlage und Kreditaufnahme zum risikolosen Zinssatz r_f .
- (4) Die Menge aller am Kapitalmarkt gehandelten Wertpapiere ist vorgegeben, und jedes Wertpapier ist beliebig teilbar.
- (5) Es existiert ein vollkommener Kapitalmarkt ohne Friktionen und Kapitalmarktunvollkommenheiten, d.h. ohne Transaktionskosten, Steuern oder sonstige Kapitalmarktbeschränkungen, die den freien Kapitalverkehr bzw. Wertpapierhandel einschränken. Zudem wird ein informationseffizienter Kapitalmarkt unterstellt, auf dem die Informationen allen Investoren zeitgleich und kostenlos zur Verfügung stehen.

Vor diesem Hintergrund liefert das Kapitalmarktmodell einen Ansatz zur Ableitung risikoabhängiger Zinssätze für Investitionen unter Unsicherheit.³¹ Um die Preisbildung für risikobehaftete Investitionen auf vollkommenen Kapitalmärkten erklären zu können, wird zunächst mit Hilfe der Portefeuilletheorie (Portfolio Selection Theory) das Verhalten rational handelnder Investoren im Hinblick auf die Diversifikation eines Wertpapierportefeuilles erläutert.³² Aufbauend auf den Erkenntnissen der Portefeuilletheorie erfolgt die Erörterung der Kapitalmarkttheorie. Während

³⁰ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 250f.; ebenda, S. 752 und S. 758.

³¹ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 752.

³² Vgl. ebenda, S. 752; Perridon/Steiner (2007), S. 240.

die Portfeuilletheorie Aufschluss darüber gibt, wie risikoaverse Investoren bei gegebener Rendite ihr Risiko minimieren können, stellt die Kapitalmarkttheorie einen Erklärungsansatz für die Preismechanismen auf Kapitalmärkten und damit für den Zusammenhang von Renditeforderung und Risiko dar.³³

2.2.1. Portfeuilletheorie

Im Mittelpunkt der Portfeuilletheorie nach Markowitz³⁴ steht die Untersuchung einer Entscheidungssituation unter Unsicherheit.³⁵ Die Entscheidung liegt in der Zusammenstellung eines Portfeuillees bestehend aus risikobehafteten Wertpapieren. Den Investoren wird risikoscheues Verhalten unterstellt, d.h. sie sind annahmegemäß bereit, auf Erträge zugunsten von Risikominderungen zu verzichten. Die Investoren treffen dabei ihre Entscheidung auf der Grundlage der (μ, σ) -Regel,³⁶ welche die Existenz quadratischer Nutzenfunktionen der Investoren bzw. normalverteilter Renditen voraussetzt.³⁷ Unter der Annahme, dass alle Wertpapiere durch den Erwartungswert μ und die Standardabweichung σ der Wertpapierrenditen³⁸ hinreichend genau beschrieben werden können, kann die Standardabweichung als Risikomaß interpretiert werden.³⁹

Bei gleichem Erwartungswert wird sich ein Investor für die Alternative mit dem geringsten Risiko (der geringsten Standardabweichung) entscheiden; während bei gleichem Risiko, d.h. bei gleicher Standardabweichung, die Alternative mit dem höchsten Erwartungswert gewählt wird. Für den Fall, dass die Wertpapiere innerhalb eines Portfeuillees unterschiedliche Renditen und Streuungen aufweisen, ist eine Investitionsentscheidung nach der (μ, σ) -Regel nicht mehr möglich. Die er-

³³ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 752.

³⁴ Zu den theoretischen Grundlagen der Portfeuilletheorie siehe Markowitz (1952), S. 77-91.

³⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 241.

³⁶ Vgl. Maier (2001), S. 299; ebenda, S. 241.

³⁷ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 241.

³⁸ Wertpapierrendite = $\frac{\text{Dividende} + \text{Kursänderung}}{\text{Anschaffungsauszahlung}}$

³⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 752f.

wartete Rendite eines Wertpapierportefeuilles WP (μ_{WP}) bestehend aus F Wertpapieren entspricht dem gewogenen arithmetischen Mittel der erwarteten Renditen der einzelnen Wertpapiere μ_f .⁴⁰

$$\mu_{WP} = \sum_{f=1}^F a_f \cdot \mu_f$$

a : Anteil eines Wertpapiers an einem Wertpapierportefeuille

Dabei gilt für die Summe der Anteile aller Wertpapiere des Portefeuilles folgender Zusammenhang:⁴¹

$$\sum_{f=1}^F a_f = 1$$

Im Gegensatz zur erwarteten Rendite eines Wertpapierportefeuilles entspricht dessen Standardabweichung σ_{WP} nur unter der Voraussetzung vollständig positiv korrelierter Wertpapiere der Summe der gewichteten Einzelstandardabweichungen σ_f .⁴² Verantwortlich für die Abweichung vom gewogenen arithmetischen Mittel ist die stochastische Abhängigkeit der einzelnen Wertpapierrenditen, erfasst durch deren Kovarianz cov_{fg} .⁴³

$$\sigma_{WP} = \sqrt{\sum_{f=1}^F a_f^2 \cdot \sigma_f^2 + \sum_{f=1}^F \sum_{\substack{g=1 \\ f \neq g}}^G a_f \cdot a_g \cdot cov_{fg}} = \sqrt{\sum_{f=1}^F \sum_{g=1}^G a_f \cdot a_g \cdot cov_{fg}}$$

Die zukünftige Wertpapierrendite ist ferner abhängig davon, welcher zufallsbedingte Umweltzustand U eintritt.⁴⁴ Bei Änderung des Umweltzustands von U_1 nach U_2 weisen die Renditen zweier Wertpapiere eines der folgenden Korrelationsverhalten mit dem dazugehörigen Korrelationsgrad und -koeffizienten δ auf:

⁴⁰ Vgl. ebenda, S. 753; Perridon/Steiner (2007), S. 241.

⁴¹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 242.

⁴² Vgl. ebenda, S. 242; Döring/Wöhe (2005), S. 753.

⁴³ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 242.

⁴⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 753-756.

Korrelationsgrad	Korrelationsverhalten	Korrelationskoeffizient
Vollständig positiv korreliert	Vollständig gleichförmig	$\delta = 1$
Schwach positiv korreliert	Mehr oder weniger gleichförmig	$0 < \delta < 1$
Unkorreliert	Unabhängig	$\delta = 0$
Schwach negativ korreliert	Mehr oder weniger gegenläufig	$-1 < \delta < 0$
Vollständig negativ korreliert	Vollständig gegenläufig	$\delta = -1$

Tab. 2-1: Korrelationsgrade, -verhalten und -koeffizienten.

Quelle: In Anlehnung an Döring/Wöhe (2005), S. 754.

Das Portefeullerisiko wird zum einen durch die Zusammenstellung des Portefeulles, d.h. durch die Auswahl der beiden Wertpapiere, und zum anderen durch deren Korrelation determiniert. Je geringer die Einzelrisiken σ_1 und σ_2 der beiden Wertpapiere sind und je stärker der Korrelationskoeffizient δ_{12} der beiden Wertpapiere von eins divergiert, umso geringer fällt das Portefeullerisiko aus. Man bezeichnet den Effekt der Risikomitigation in Abhängigkeit vom Korrelationsgrad als Diversifikationseffekt. Die vollständige Diversifikation des Portefeullerisikos ist nur theoretisch denkbar, da in der Realität eine vollständig negative Korrelation ($\delta = -1$) zweier Wertpapiere nicht gegeben ist.

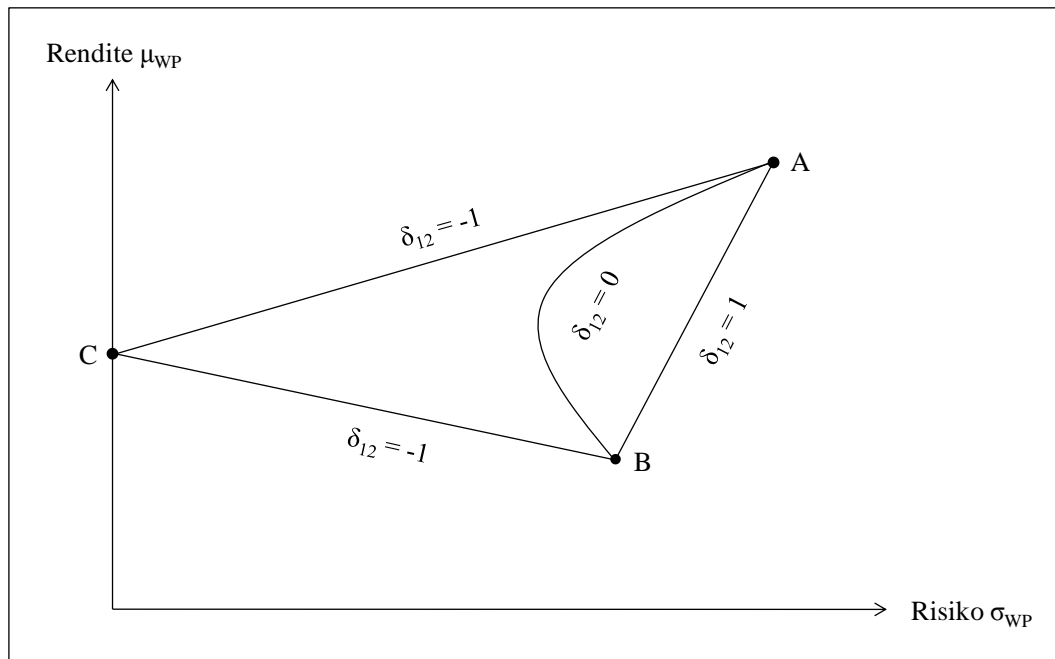


Abb. 2-1: Zusammenhang zwischen Rendite und Risiko im Zwei-Wertpapiere-Fall.
Quelle: Perridon/Steiner (2007), S. 244.

In Abb. 2-1 werden mögliche Risiko-Rendite-Relationen eines Portefeuilles für den Zwei-Wertpapiere-Fall bei unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten und beliebiger Teilbarkeit dargestellt. Die Krümmung der Portefeuillelinien gibt dabei Aufschluss über den Grad der Diversifikation, d.h. über die Risikostreuung durch die Bildung eines Mischportefeuilles. Bei vollständig positiv korrelierten Wertpapierrenditen ($\delta_{12} = 1$) lässt sich keine risikomindernde Wirkung erzielen, mit anderen Worten, das Portefeuillerisiko entspricht dem gewogenen Durchschnitt der Einzelrisiken beider Wertpapiere.⁴⁵ Je stärker der Korrelationskoeffizient von eins abweicht desto größer ist der Diversifikationseffekt bzw. desto höher ist die favorable Abweichung des Portefeuillerisikos vom gewogenen Durchschnitt der Einzelrisiken.⁴⁶ Im Extremfall einer vollständig negativen Korrelation ($\delta_{12} = -1$) beider Wertpapiere könnte das Portefeuillerisiko komplett eliminiert werden. Demzufolge lässt sich die Aussage treffen, dass die Wirkung der Diversifikation vom Korrelationsgrad abhängt.

⁴⁵ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 243; ebenda, S. 756.

⁴⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 756.

Hierbei gelten folgende Grundsätze:

- (1) Die Diversifikation ist nur im Fall nicht vollkommen positiv korrelierter Wertpapierrenditen sinnvoll.
- (2) Mit abnehmendem Korrelationskoeffizienten steigt die risikomindernde Wirkung der Diversifikation.

In der Portfeuilletheorie unterscheidet man zwischen drei Portfeuillearten, zulässigen, effizienten und optimalen Portfeuillees.⁴⁷ Diese Differenzierung wird anhand der nachfolgenden Abb. 2-2 weitergehend erläutert.

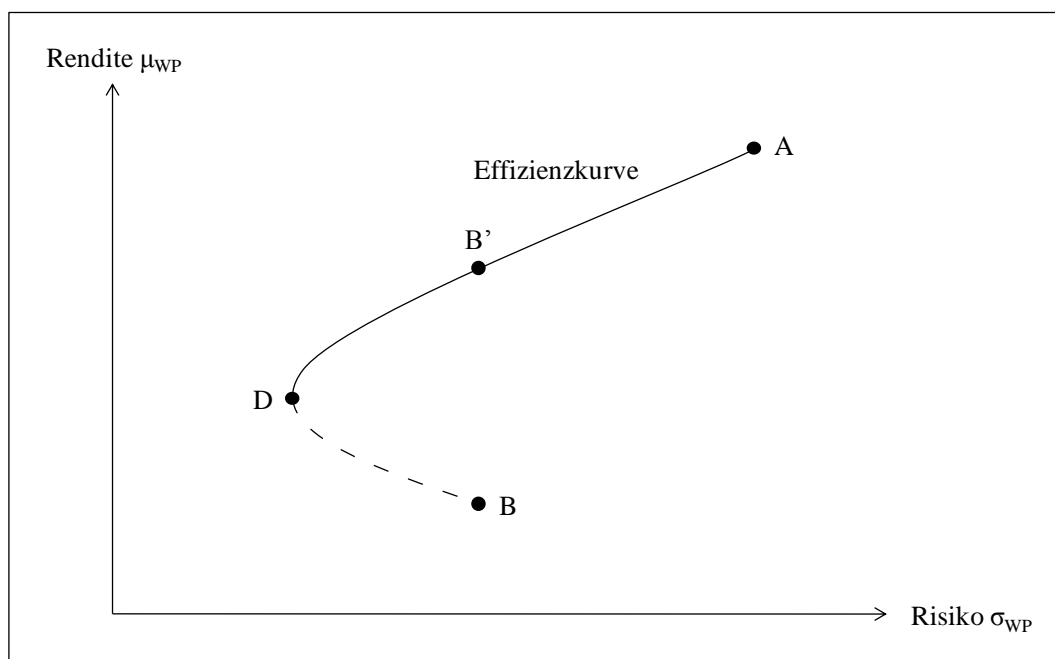


Abb. 2-2: Zulässige und effiziente Wertpapierportfeuillees.

Quelle: Döring/Wöhe (2005), S. 757.

Als zulässig gelten alle Portfeuillees, die sich ein Investor unter Berücksichtigung der Marktbedingungen und seiner Kapitalausstattung zusammenstellen kann.⁴⁸ Im vorliegenden Fall beschreibt die Linie AB'DB alle zulässigen Portfeuillees.

Unter effizienten Portfeuillees versteht man jene, die nicht von anderen Portfeuillees dominiert werden. Somit weist ein effizientes Portfeuille die folgenden konstituierenden Merkmale auf:

⁴⁷ Vgl. ebenda, S. 756; Perridon/Steiner (2007), S. 241.

⁴⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 757.

Es existiert kein Portefeuille, das

- bei gleicher erwarteter Portefeuillerendite ein geringeres Portefeuillerisiko oder
- bei gleichem Portefeuillerisiko eine höhere erwartete Portefeuillerendite oder
- sowohl ein geringeres Portefeuillerisiko als auch eine höhere erwartete Portefeuillerendite aufweist.⁴⁹

Demnach befinden sich alle effizienten Portefeuilles auf der Effizienzkurve AB'D.⁵⁰ Im Gegensatz dazu sind die durch die Linie DB beschriebenen Portefeuilles ineffizient. Beispielsweise würde ein rational handelnder, risikoaverser Investor das Portefeuille B' stets dem Portefeuille B vorziehen, da er bei gleichem Portefeuillerisiko eine höhere erwartete Portefeuillerendite erzielen kann. Man spricht in diesem Zusammenhang auch davon, dass das Portefeuille B' das Portefeuille B dominiert.

Mit abnehmendem Grad der Risikoaversion würde sich ein Investor vom Portefeuille D, das sich durch das geringste Portefeuillerisiko auszeichnet, auf der Effizienzkurve in Richtung A bewegen. Die Lage des optimalen Portefeuilles hängt von der Kenntnis der individuellen Präferenzfunktion des Investors ab.⁵¹ In diesem Zusammenhang stellen die Isonutzenfunktionen alle Risiko-Rendite-Relationen dar, die dem Investor den gleichen erwarteten Nutzen stiften.⁵² Im Fall eines risikoaversen Investors besitzen sie eine positive Steigung und nähern sich mit steigender Risikoaversion einem vertikalen Verlauf an. Als Ausdruck der individuellen Präferenzen eines Investors hat die Gestalt der Isonutzenfunktionen keinen Einfluss auf den Verlauf der Effizienzkurve und damit die Zusammensetzung des Mischportefeuilles. Bei gegebener Präferenzfunktion markiert der Tangentialpunkt C der Iso-

⁴⁹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 241; ebenda, S. 757.

⁵⁰ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 757.

⁵¹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 245; ebenda, S. 757.

⁵² Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 245.

nutzenfunktion Φ_2 und der Effizienzkurve AB'D das Optimalportefeuille des Investors, da der Risikonutzen von Φ_1 bis Φ_3 ansteigt. Anhand der Abb. 2-3 kann die graphische Bestimmung des optimalen Portefeuilles nachvollzogen werden.

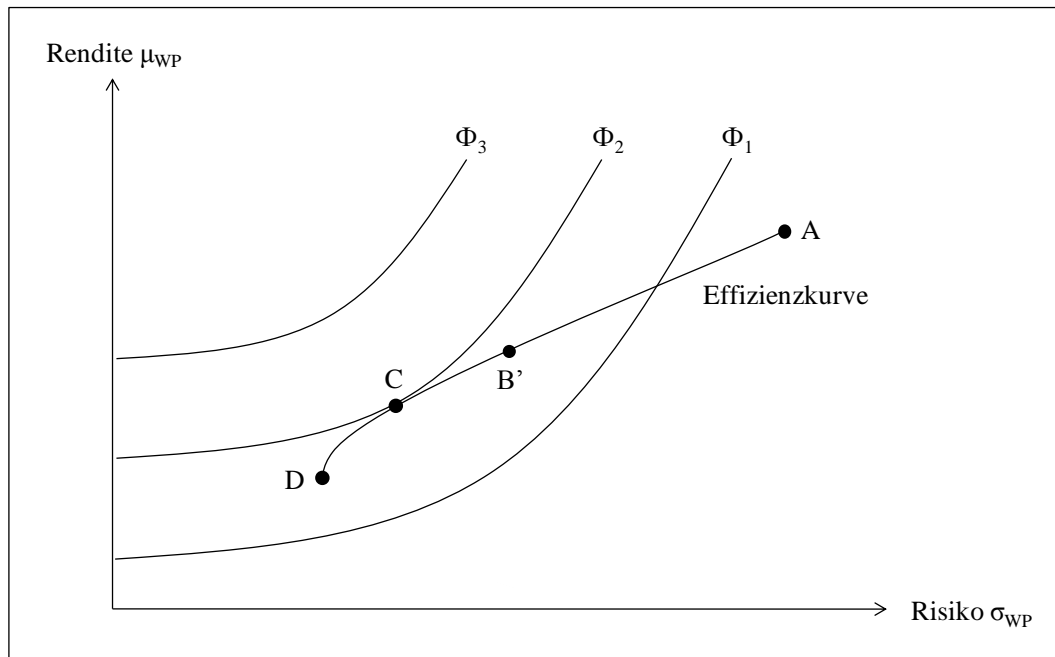


Abb. 2-3: Graphische Bestimmung des optimalen Wertpapierportefeuilles.

Quelle: Perridon/Steiner (2007), S. 246.

Die Anwendungsschwierigkeiten der Portefeuilletheorie sind im Wesentlichen auf die Schätzung bzw. Ermittlung der Korrelationskoeffizienten sowie auf deren hohe Zahl bei größeren Entscheidungsproblemen als dem erläuterten Zwei-Wertpapiere-Fall zurückzuführen.⁵³ Häufig erweist sich auch die Abbildung der Präferenzen der Investoren in Form von Isonutzenfunktionen als schwierig. Darüber hinaus liefert der Ansatz von Markowitz dem Investor keinerlei Hinweise auf den richtigen Zeitpunkt zum Erwerb der Wertpapiere.⁵⁴

2.2.2. Kapitalmarkttheorie

Die Konzepte der Wertpapier- und Kapitalmarktlinie bilden die Grundlage der modernen Kapitalmarkttheorie.⁵⁵ Mit Hilfe dieser Ansätze kann die Preisbildung auf

⁵³ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 758.

⁵⁴ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 246.

⁵⁵ Vgl. ebenda, S. 250; Döring/Wöhe (2005), S. 758.

vollkommenen Kapitalmärkten unter Berücksichtigung von unsicheren Erwartungen der Investoren erklärt werden.⁵⁶ Insofern nutzt die Kapitalmarkttheorie die Erkenntnisse der Portefeuilletheorie bei gleichzeitiger Erweiterung um eine risikolose Geldanlage- und Kreditaufnahmemöglichkeit.⁵⁷ Annahmegemäß befindet sich der Kapitalmarkt im Gleichgewicht, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Portefeuillepläne der Investoren miteinander vereinbar sind und jeder Investor ein optimales Portefeuille hält.⁵⁸ Darüber hinaus existieren stets markträumende Wertpapierkurse, die für ein Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage sorgen.

2.2.2.1. Kapitalmarktlinie

Während im Rahmen der Portefeuilletheorie die Anzahl der risikobehafteten Wertpapiere auf zwei begrenzt wurde, wird diese Beschränkung in der Folge aufgehoben.⁵⁹ Demnach liegt die Menge der zulässigen Portefeuilles nicht mehr auf einer Linie sondern innerhalb einer Fläche, die durch die konkave Effizienzkurve der risikobehafteten Portefeuilles ACMD begrenzt wird.⁶⁰ Aufgrund homogener Erwartungen existiert nur eine Effizienzkurve für alle Investoren.⁶¹ Durch die Einführung einer risikolosen Geldanlagemöglichkeit wird das Anlageverhalten risikoscheuer Investoren dahingehend beeinflusst, dass diese sich für Kombinationen aus der risikolosen Kapitalanlage und den riskanten Mischportefeuilles entscheiden.⁶² Dabei erweisen sich alle Kombinationen der risikolosen Anlagemöglichkeit mit dem auf der Effizienzkurve liegenden Tangentialportefeuille M als effizient im Sinne der Kapitalmarkttheorie.⁶³ Das Tangentialportefeuille bezeichnet man als Marktportefeuille *MP*, das sich aus der Gesamtheit aller am Markt gehandelten risikobehafteten Wertpapiere im Verhältnis ihrer Marktwerte zusammensetzt.⁶⁴ Unter der Be-

⁵⁶ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 758.

⁵⁷ Vgl. Fama/French (2004), S. 26; Perridon/Steiner (2007), S. 250.

⁵⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 251.

⁵⁹ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 758.

⁶⁰ Vgl. Fama/French (2004), S. 26; ebenda, S. 758.

⁶¹ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 759.

⁶² Vgl. Fama/French (2004), S. 27f.; Perridon/Steiner (2007), S. 251.

⁶³ Vgl. Fama/French (2004), S. 28; Perridon/Steiner (2007), S. 251.

⁶⁴ Vgl. Fama/French (2004), S. 28; Döring/Wöhe (2005), S. 760.

dingung einer jederzeit vorhandenen, risikolosen Geldanlage- und Kreditaufnahmemöglichkeit wird die Effizienzkurve zu einer Effizienzgeraden, die durch den risikolosen Zinssatz r_f und das Marktportefeuille determiniert und als Kapitalmarktlinie (Capital Market Line) bezeichnet wird (vgl. Abb. 2-4).⁶⁵ Sie resultiert aus der Annahme, dass sich die individuellen Portefeuilles aller Investoren aus einer Kombination der risikolosen Kapitalanlage und des risikobehafteten Marktportefeuilles ergeben (Two Fund Separation Principle). Der Unterschied zwischen den individuellen Portefeuilles der Investoren liegt in den Aufteilungsquoten des Investitionskapitals auf die risikolose Anlagemöglichkeit und das risikobehaftete Marktportefeuille. Die Allokation des Investitionskapitals erfolgt entsprechend der individuellen Risikoneigung eines Investors.⁶⁶

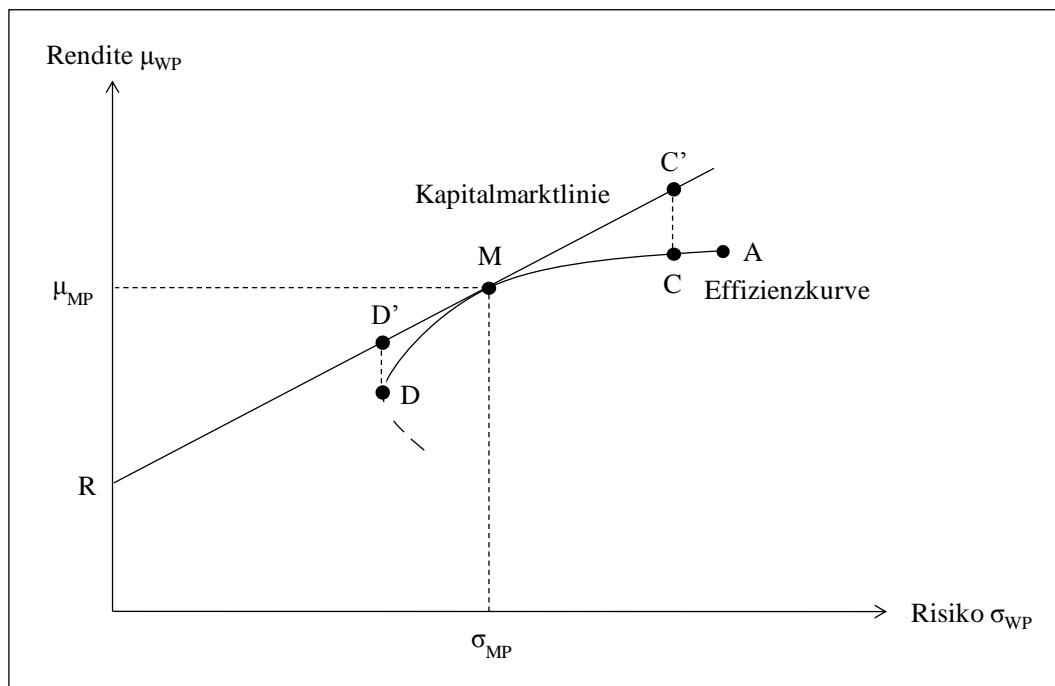


Abb. 2-4: Marktportefeuille und Kapitalmarktlinie.

Quelle: Döring/Wöhe (2005), S. 760.

⁶⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 252.

⁶⁶ Vgl. ebenda, S. 252; Döring/Wöhe (2005), S. 760.

Vor dem Hintergrund homogener Erwartungen und vollkommener Marktbedingungen ergeben sich für rational handelnde und risikoscheue Investoren folgende Anlagemöglichkeiten:⁶⁷

- (1) Anlage des verfügbaren Eigenkapitals als risikolose Kapitalanlage zum risikolosen Zinssatz (Punkt R)
- (2) Anlage des verfügbaren Eigenkapitals als Mischportefeuille bestehend aus der risikolosen Kapitalanlage und dem Marktportefeuille (Strecke RM)
- (3) Anlage des verfügbaren Eigenkapitals als Marktportefeuille (Punkt M)
- (4) Anlage des verfügbaren Eigenkapitals und des zusätzlich aufgenommenen Fremdkapitals als Marktportefeuille (Kapitalmarktlinie rechts oberhalb des Punktes M, beispielsweise Punkt C').

Vollkommen risikoaverse Investoren werden sich für Anlagemöglichkeit (1) entscheiden und demzufolge ihr gesamtes Investitionskapital in die risikolose Kapitalanlage (Punkt R) investieren. Diese Anlagestrategie gewährleistet eine sichere Kapitalverzinsung in Höhe des risikolosen Zinssatzes. Mit steigender Risikobereitschaft und bei gegebener Eigenkapitalausstattung bewegen sich die Investoren auf der Kapitalmarktlinie vom Punkt R in Richtung des Punktes M. Dabei verändert sich die Aufteilungsquote zwischen der risikolosen Anlagemöglichkeit und dem Marktportefeuille sukzessive zugunsten des Marktportefeuilles. Im Punkt M, der die Anlagemöglichkeit (3) widerspiegelt, legt ein Investor sein gesamtes Eigenkapital im Marktportefeuille an. Im Rahmen der Anlagemöglichkeit (4) kann der Investor seine gegebene Eigenkapitalausstattung durch die Aufnahme eines Kredits zum risikolosen Zinssatz erweitern. Durch die Möglichkeit der Kreditaufnahme sind für den Investor Risiko-Rendite-Relationen oberhalb des Punktes M auf der Kapitalmarktlinie realisierbar. Investiert ein Investor sein gesamtes Eigenkapital und darüber hinaus das zusätzlich aufgenommene Fremdkapital in das Marktportefeuille, ist es ihm möglich, bei gleichem Portefeuillerisiko seine erwartete Portefeuillrendite beispielsweise von C auf C' zu erhöhen. Man bezeichnet diesen Effekt auch als Hebelwirkung der Verschuldung bzw. Leverage-Effekt.

⁶⁷ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 759-761.

Die Zusammensetzung des Marktportefeuilles bleibt von der Anlageentscheidung des Investors unberührt. Sie wird ausschließlich durch die Höhe des risikolosen Zinssatzes und die Form der Effizienzkurve determiniert. Die Tatsache, dass die Zusammensetzung des Marktportefeuilles nicht von der Risikoneigung bzw. dem Grad der Risikoaversion des einzelnen Investors abhängt, bezeichnet man als Tobin-Separation.⁶⁸

Die Abb. 2-5 veranschaulicht graphisch, dass der risikolose Zinssatz den Achsenabschnitt und

$$\frac{\mu_{MP} - r_f}{\sigma_{MP}}$$

die Steigung der Kapitalmarktlinie darstellen.⁶⁹ Für den Verlauf der Kapitalmarktlinie ergibt sich daraus im Kapitalmarktgleichgewicht folgender linearer Zusammenhang zwischen der erwarteten Rendite und dem Risiko eines Wertpapierportefeuilles:⁷⁰

$$\mu_{WP} = r_f + \frac{\mu_{MP} - r_f}{\sigma_{MP}} \cdot \sigma_{WP}$$

Die Steigung der Kapitalmarktlinie gibt den Marktpreis für die Übernahme einer zusätzlichen Risikoeinheit am Kapitalmarkt an und wird daher auch als Marktpreis des Risikos bezeichnet.⁷¹ Mit anderen Worten, ein Investor verlangt für die Übernahme einer zusätzlichen Risikoeinheit eine Risikoprämie in Höhe von

$$\frac{\mu_{MP} - r_f}{\sigma_{MP}} \cdot \sigma_{WP} \quad ^{72}$$

⁶⁸ Vgl. Fama/French (2004), S. 28; ebenda, S. 761; Perridon/Steiner (2007), S. 257.

⁶⁹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 253; Döring/Wöhe (2005), S. 761.

⁷⁰ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 761; Perridon/Steiner (2007), S. 253.

⁷¹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 254.

⁷² Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 761.

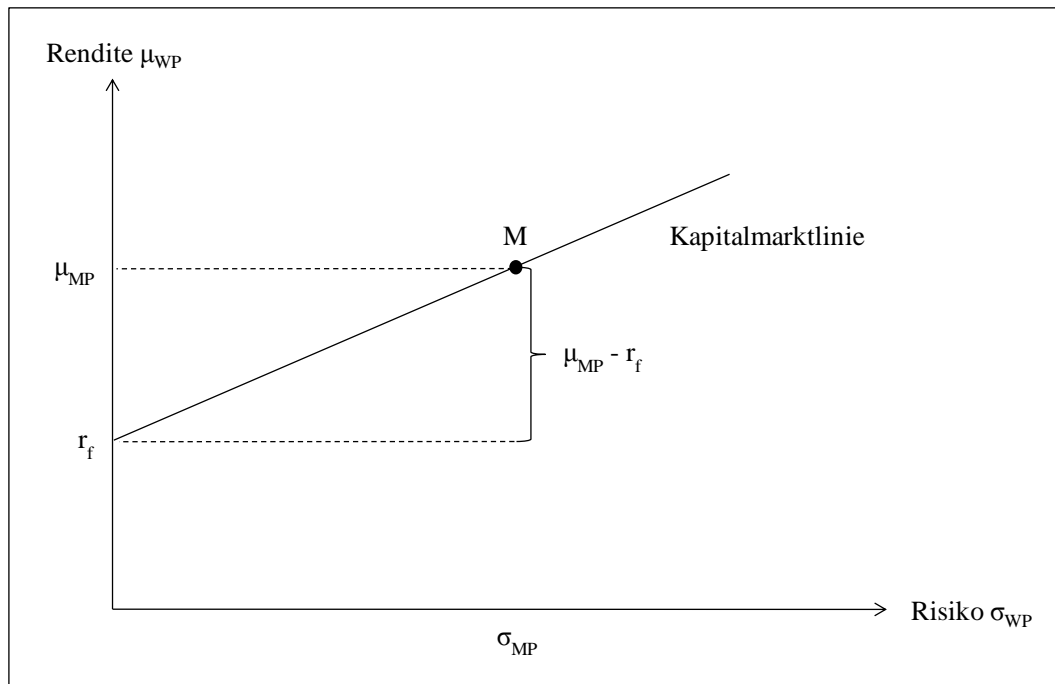


Abb. 2-5: Steigung der Kapitalmarktklinie.

Quelle: Döring/Wöhe (2005), S. 762.

Das Konzept der Kapitalmarktklinie gibt Aufschluss über die generelle Bewertung des Risikos am Kapitalmarkt, kann jedoch nicht direkt zur Bestimmung der Kapitalkosten eines einzelnen Unternehmens innerhalb des Marktportefeuilles herangezogen werden.⁷³

2.2.2.2. Wertpapierlinie

Das Konzept der Wertpapierlinie, auch bekannt als Capital Asset Pricing Model (*CAPM*), geht auf die Arbeiten von Sharpe, Lintner und Mossin⁷⁴ zurück. Für seine Leistungen auf dem Gebiet der Kapitalmarkttheorie wurde Sharpe 1990 mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften ausgezeichnet. Während mit Hilfe der Kapitalmarktklinie der Marktpreis des Risikos unter Unsicherheit bestimmt werden kann, dient das *CAPM* dazu, den Preis (Marktwert, Kurswert) einzelner Wertpa-

⁷³ Vgl. ebenda, S. 761.

⁷⁴ Zu den theoretischen Grundlagen des *CAPM* siehe Sharpe (1964), S. 425-442; Lintner (1965), S. 13-37; Mossin (1966), S. 768-783.

riere im Marktportefeuille anhand des spezifischen Unternehmensrisikos zu ermitteln.⁷⁵ Sowohl der Wert eines Unternehmens als auch dessen Refinanzierungskosten am Kapitalmarkt werden entscheidend durch dessen Risikoeinstufung beeinflusst. Die daraus entstehende Notwendigkeit zur Ableitung eines geeigneten unternehmensspezifischen Risikomaßes steht daher im Mittelpunkt der nachfolgenden Herleitung der Wertpapierlinie.

Der Erwartungswert und die Standardabweichung der Rendite eines Wertpapierportefeuilles, das sich zu a Teilen aus dem Wertpapier f und zu $(1 - a)$ Teilen aus dem Marktportefeuille zusammensetzt, werden wie folgt ermittelt:

$$\mu_{WP} = a \cdot \mu_f + (1 - a) \cdot \mu_{MP}$$

$$\sigma_{WP} = [a^2 \cdot \sigma_f^2 + (1 - a)^2 \cdot \sigma_{MP}^2 + 2 \cdot a \cdot (1 - a) \cdot cov_{fMP}]^{\frac{1}{2}}$$

σ_f^2 : Varianz des Wertpapiers f

σ_{MP}^2 : Varianz des Marktportefeuilles

cov_{fMP} : Kovarianz zwischen Wertpapier f und Marktportefeuille

Durch die Bildung der ersten partiellen Ableitung nach a wird der Effekt einer marginalen Änderung von a auf den Erwartungswert respektive die Standardabweichung des Wertpapierportefeuilles quantifiziert.

$$\frac{\partial \mu_{WP}}{\partial a} = \mu_f - \mu_{MP}$$

$$\frac{\partial \sigma_{WP}}{\partial a} = \frac{1}{2} \cdot [a^2 \cdot \sigma_f^2 + (1 - a)^2 \cdot \sigma_{MP}^2 + 2 \cdot a \cdot (1 - a) \cdot cov_{fMP}]^{-\frac{1}{2}} \cdot [2 \cdot a \cdot \sigma_f^2 - 2 \cdot \sigma_{MP}^2 + 2 \cdot a \cdot \sigma_{MP}^2 + 2 \cdot cov_{fMP} - 4 \cdot a \cdot cov_{fMP}]$$

Im Kapitalmarktgleichgewicht ist der Anteil a des Wertpapiers f am Marktportefeuille unveränderlich vorgegeben, da jede Veränderung von a zu einem Ungleichgewicht von Angebot und Nachfrage führen würde. Daher gilt im Kapitalmarktgleichgewicht grundsätzlich: $a = 0$.

$$\left. \frac{\partial \mu_{WP}}{\partial a} \right|_{a=0} = \mu_f - \mu_{MP}$$

⁷⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 254f.

$$\frac{\partial \sigma_{WP}}{\partial a} \Big|_{a=0} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{MP}^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot (-2 \cdot \sigma_{MP}^2 + 2 \cdot \text{COV}_{fMP}) = \frac{\text{COV}_{fMP} - \sigma_{MP}^2}{\sigma_{MP}}$$

Auf dieser Grundlage ergibt sich für die Grenzrate der Substitution zwischen Risiko und Renditeerwartung im Kapitalmarktgleichgewicht folgender Zusammenhang:

$$\frac{\partial \mu_{WP} / \partial a}{\partial \sigma_{WP} / \partial a} \Big|_{a=0} = \frac{\mu_f - \mu_{MP}}{(\text{COV}_{fMP} - \sigma_{MP}^2) / \sigma_{MP}}$$

Befindet sich der Kapitalmarkt im Gleichgewicht ist diese Grenzrate der Substitution für alle gehandelten Wertpapiere gleich groß und entspricht aufgrund der Einheit von Markt- und Tangentialportefeuille der Steigung der Kapitalmarktklinie.

$$\frac{\mu_{MP} - r_f}{\sigma_{MP}} = \frac{\mu_f - \mu_{MP}}{(\text{COV}_{fMP} - \sigma_{MP}^2) / \sigma_{MP}}$$

Durch die Auflösung dieser Gleichung nach der erwarteten Rendite des Wertpapiers f erhält man die sog. „Wertpapierlinie“ (Security Market Line).

$$\mu_f = r_f + (\mu_{MP} - r_f) \cdot \frac{\text{COV}_{fMP}}{\sigma_{MP}^2}$$

Gemäß diesem Zusammenhang entspricht die erwartete Rendite eines Wertpapiers im Kapitalmarktgleichgewicht dem risikolosen Zinssatz zuzüglich des Marktpreises für die Risikoübernahme multipliziert mit der Risikohöhe. Im Rahmen des *CAPM* wird die Risikohöhe als Beta (β) bezeichnet und als Risikomaß für die Bestimmung der Kapitalkosten eines Unternehmens herangezogen.⁷⁶ Das Beta des Wertpapiers f ergibt sich aus dem Quotienten der Kovarianz zwischen Wertpapier f und Marktportefeuille sowie der Varianz des Marktportefeuilles.⁷⁷

$$\beta_f = \frac{\text{COV}_{fMP}}{\sigma_{MP}^2} = \delta_{fMP} \cdot \frac{\sigma_f}{\sigma_{MP}}$$

δ_{fMP} : Korrelationskoeffizient zwischen Wertpapier f und Marktportefeuille

Unter Verwendung von β_f lautet der mathematische Zusammenhang für die Wertpapierlinie wie folgt:⁷⁸

⁷⁶ Vgl. ebenda, S. 255; Döring/Wöhe (2005), S. 763.

⁷⁷ Vgl. Fama/French (2004), S. 28; Perridon/Steiner (2007), S. 255.

⁷⁸ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 255.

$$\mu_f = r_f + (\mu_{MP} - r_f) \cdot \beta_f$$

Die Kovarianz der risikolosen Kapitalanlage mit dem Marktportefeuille ist null.⁷⁹ Infolgedessen beträgt das Beta dieser Kapitalanlage ebenfalls null.

$$\beta_{r_f} = \frac{COV_{r_f MP}}{\sigma_{MP}^2} = 0$$

Analog dazu entspricht die Kovarianz des Marktportefeuilles mit sich selbst der Varianz des Marktportefeuilles, weshalb das Marktportefeuille ein Beta von eins aufweist.

$$\beta_{MP} = \frac{COV_{MP MP}}{\sigma_{MP}^2} = \frac{\sigma_{MP}^2}{\sigma_{MP}^2} = 1$$

Beim *CAPM* wird lediglich das marktbezogene Risiko eines Wertpapiers, das auch als systematisches Risiko bezeichnet wird, vergütet, da dieses, selbst bei effizienten Wertpapierportefeuilles, nicht wegdiversifiziert werden kann.⁸⁰ Als klassische Beispiele für systematische Risiken werden in der Literatur häufig Wechselkurs- und Konjunkturrisiken angeführt, die eine unternehmensübergreifende Wirkung entfalten.⁸¹ Vom systematischen Risiko abzugrenzen ist das unsystematische oder unternehmensindividuelle Risiko, das gemäß den Annahmen des vollkommenen Kapitalmarkts durch Portefeuillediversifikation vollständig eliminiert werden kann.⁸² Infolgedessen kann Beta als Maß für das mit dem Wertpapier übernommene Marktrisiko interpretiert werden.⁸³

Beim Marktportefeuille mit einem Beta von eins handelt es sich um ein gut diversifiziertes Portefeuille bestehend aus allen am Markt gehandelten Wertpapieren, dessen Rendite ausschließlich dem systematischen Risiko unterliegt.⁸⁴ Aufgrund dessen entspricht das Risiko des Marktportefeuilles dem systematischen Risiko des gesamten Marktes. Allgemein gilt, je größer das Beta eines Wertpapiers ist, desto höher wird das systematische Risiko in Bezug auf das Wertpapier eingeschätzt. Die

⁷⁹ Vgl. dazu und im Folgenden ebenda, S. 255; Döring/Wöhe (2005), S. 763.

⁸⁰ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 256.

⁸¹ Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 762; Gleißner (2002), S. 425.

⁸² Vgl. Döring/Wöhe (2005), S. 762.

⁸³ Vgl. Maier (2001), S. 299.

⁸⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 762f.

damit verbundenen steigenden Risikoprämien bzw. Renditeforderungen der Investoren als Entlohnung des Risikos führen gleichzeitig zu einem Anstieg der Refinanzierungskosten des Unternehmens am Kapitalmarkt.⁸⁵ Sofern die Vergabe von Fremdkapital an ein Unternehmen für die Kapitalgeber keine Risiken birgt, entspricht der Fremdkapitalkostensatz dem risikolosen Zinssatz.⁸⁶ In diesem Fall übersteigen die Eigenkapitalkosten die Fremdkapitalkosten um eine Risikoprämie in Höhe von $(\mu_{MP} - r_f) \cdot \beta_f$, die dem Eigenkapitalkostensatz eines unverschuldeten Unternehmens entspricht. Die Höhe der Risikoprämie wird allein durch das Beta des jeweiligen Unternehmens determiniert. Bei einem Beta von kleiner eins wird das Risiko des Unternehmens im Vergleich zum Risiko des Marktportefeuilles als geringer eingestuft, während ein Beta von größer eins ein vergleichsweise höheres Risiko ausdrückt. Besitzt ein Unternehmen ein Beta von eins, entspricht dessen Risiko genau dem Risiko des Marktportefeuilles.

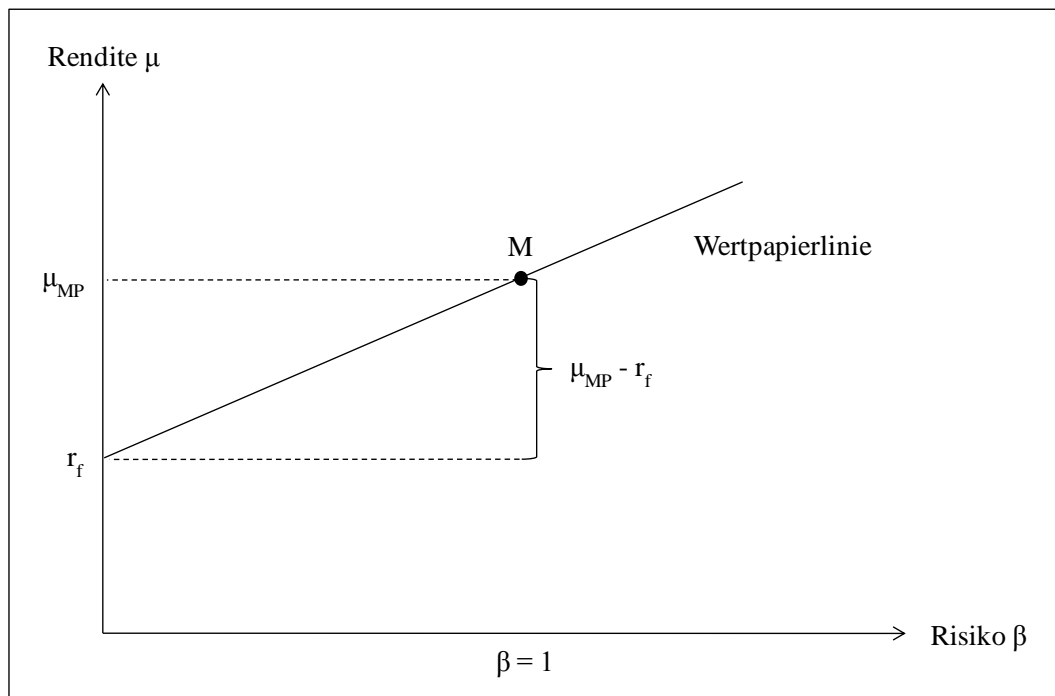


Abb. 2-6: Wertpapierlinie.

Quelle: Döring/Wöhe (2005), S. 764.

⁸⁵ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 256; ebenda, S. 763.

⁸⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Döring/Wöhe (2005), S. 763f.

Zusammenfassend können aus dem Konzept der Wertpapierlinie die folgenden Kernaussagen abgeleitet werden:

- (1) Im Rahmen der Bewertung einzelner Unternehmen innerhalb des Marktportefeuilles ist lediglich das systematische Risiko von Bedeutung.
- (2) Der Zusammenhang zwischen dem Risikomaß Beta für das systematische Risiko und der Rendite ist linear, wobei die Risikoprämie $(\mu_{MP} - r_f) \cdot \beta_f$ beträgt.

Das *CAPM* ermöglicht eine entscheidungstheoretische Analyse von Risiko und Renditeerwartungen und bildet somit die Ausgangsbasis für die weiteren Überlegungen im Verlauf dieser Arbeit.

3. (Real-)Optionsbasierte Investitionsbewertung

Im vorangegangenen Kapitel wurden sowohl dynamische als auch kapitalmarkttheoretische Verfahren der Investitionsbewertung vorgestellt. Aufgrund der konzeptionellen Ausgestaltung dieser Ansätze blieb die Flexibilität von Investitionen als Werttreiber bislang unberücksichtigt. Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend, neben den theoretischen Grundlagen der (Real-)Optionstheorie, Verfahren diskutiert, welche die Quantifizierung der Flexibilität ermöglichen und dadurch die Fundierung für eine wertorientierte Unternehmensführung liefern.⁸⁷

3.1. Grundlagen der (Real-)Optionstheorie

In der (Real-)Optionstheorie versteht man unter Optionen Kontrakte, die das Recht und nicht die Pflicht verbiefen, dass der Käufer (Optionshalter) den zu Grunde liegenden Vermögensgegenstand (Basisobjekt, Underlying) zu einem im Voraus vereinbarten Preis (Basispreis, Strike Price) innerhalb eines festgelegten Zeitraums (amerikanische Option) oder zu einem bestimmten Zeitpunkt (europäische Option) kauft (Kaufoption, Call) oder verkauft (Verkaufsoption, Put).⁸⁸ Während amerikanische Optionen zu jedem Zeitpunkt innerhalb der Optionslaufzeit ausgeübt werden können, besteht bei europäischen Optionen lediglich die Möglichkeit, sie am Ende der Optionslaufzeit auszuüben. Aufgrund der größeren Flexibilität ist der Optionswert einer amerikanischen Option ceteris paribus höher als der einer europäischen Option. Der Verkäufer einer Option (Optionsstillhalter) geht die Verpflichtung ein, das Basisobjekt zum Basispreis zu liefern bzw. abzunehmen und erhält dafür im Gegenzug die sog. „Optionsprämie“.⁸⁹ Demnach handelt es sich bei einem Optionsgeschäft um ein Termingeschäft, bei dem der Übergang des Optionsrechts vom Optionsstillhalter auf den Optionshalter unmittelbar nach Vertragsschluss durch die Zahlung der Optionsprämie erfolgt.

Im Rahmen der grundlegenden Systematisierung können Optionsrechte nicht nur hinsichtlich des vereinbarten Ausübungsrechts (Kauf- vs. Verkaufsoption) und möglichen Ausübungszeitpunkts (amerikanische vs. europäische Option), sondern

⁸⁷ Vgl. Rams (1999), S. 350.

⁸⁸ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 466f.; Stegemann (2001), S. 237f.

⁸⁹ Vgl. Stegemann (2001), S. 238; Steiner/Uhlir (2001), S. 216.

auch nach ihrem Komplexitätsgrad (einfache vs. komplexe Option) unterschieden werden. Unter komplexen Optionsrechten werden Optionsoptionen (Compound Options), Schrankenoptionen (Barrier Options) und Regenbogenoptionen (Rainbow Options) subsumiert.⁹⁰ Bei Optionsoptionen handelt es sich um Optionen auf Optionen, bei denen die Ausübung und der Wert zukünftiger Optionsrechte von der Ausübung vorangegangener Optionsrechte abhängen, wie es beispielsweise bei sequentiellen Investitionen der Fall ist.⁹¹ Im Fall von Schrankenoptionen hängt die Ausübung des Optionsrechts vom Erreichen oder Nichterreichen einer festgelegten Kursschranke während der Optionslaufzeit ab.⁹² Regenbogenoptionen sind dadurch gekennzeichnet, dass der Optionswert von mehreren Unsicherheitsfaktoren beeinflusst wird.⁹³

Neben der bereits angesprochenen Flexibilität hinsichtlich des Rechts zur Optionsausübung weisen Optionen zwei weitere konstituierende Merkmale auf, Unsicherheit und Irreversibilität.⁹⁴ Die Unsicherheit liegt darin begründet, dass der Wert einer Option ex ante nicht bekannt ist.⁹⁵ Zudem besitzen Optionen nur im Fall von Unsicherheit in Bezug auf den Eintritt zukünftiger Umweltzustände einen Wert. Unter Irreversibilität versteht man die Eigenschaft, dass das Optionsrecht durch Ausübung oder Verfall aufgehoben wird.

Da für den Optionshalter keine Ausübungspflicht besteht, ergibt sich für Optionen eine asymmetrische Auszahlungsstruktur.⁹⁶ Dabei ist das Verlustrisiko des Optionshalters auf die zum Erwerb der Option gezahlte Optionsprämie begrenzt, während die Gewinnmöglichkeiten grundsätzlich unbegrenzt sind.⁹⁷ Der Optionswert setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen, dem inneren Wert (Intrinsic Value) und dem Zeitwert (Time Value), die additiv miteinander verknüpft werden.⁹⁸

⁹⁰ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 474.

⁹¹ Vgl. Mun (2002), S. 13; ebenda, S. 474.

⁹² Vgl. Sandmann (2000), S. 55-57.

⁹³ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 474; ebenda, S. 56.

⁹⁴ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 178; Hommel/Pritsch (1999b), S. 123.

⁹⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Müller (1999), S. 178.

⁹⁶ Vgl. ebenda, S. 177f.; Rams (1999), S. 349.

⁹⁷ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 177; Rams (1999), S. 349.

⁹⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Schmeisser (2010), S. 174.

Optionswert = innerer Wert + Zeitwert

Der innere Wert bezeichnet die Differenz aus dem Basiswert S und dem Basispreis B . Darüber hinaus kann dieser als der Wert interpretiert werden, den die Option hätte, wenn sie sofort ausgeübt werden müsste. Im Fall eines positiven inneren Werts, d.h. $S > B$ bei einer Kaufoption bzw. $S < B$ bei einer Verkaufsoption, befindet sich die Option im Geld (in-the-money).⁹⁹ Im Gegensatz dazu ist eine Option aus dem Geld (out-of-the-money), sofern bei einer Kaufoption $S < B$ bzw. bei einer Verkaufsoption $S > B$ gilt. Entspricht der Basiswert dem Basispreis notiert die Option am Geld (at-the-money). Der Zeitwert trägt dem Umstand Rechnung, dass eine Option, die zum aktuellen Zeitpunkt einen inneren Wert von kleiner oder gleich null besitzt, in der verbleibenden Restlaufzeit noch einen positiven Optionswert annehmen kann.¹⁰⁰ Damit stellt der Zeitwert einen optionsinhärenten Wert dar, der die Chance impliziert, von zukünftigen Veränderungen des Basisobjekts zu profitieren, ohne an möglichen Verlusten partizipieren zu müssen.¹⁰¹ Zum Ausübungszeitpunkt T entspricht der Optionswert gerade dem inneren Wert, d.h. der Zeitwert ist null.¹⁰²

Eine Option wird nur ausgeübt, wenn ihr innerer Wert positiv ist. Im Fall einer Kaufoption besitzt der Optionshalter das Recht, das Basisobjekt zum Basispreis zu erwerben.¹⁰³ Bei Fälligkeit weist der Optionswert C_T bzw. innere Wert C_{in} einer Kaufoption aus Sicht des Optionshalters folgende Auszahlungsstruktur auf:

$$C_T = C_{in} = \max(S_T - B; 0)$$

⁹⁹ Vgl. dazu und im Folgenden ebenda, S. 174; Stegemann (2001), S. 238.

¹⁰⁰ Vgl. Gackstatter et. al (2001), S. 53.

¹⁰¹ Vgl. ebenda (2001), S. 53; Schmeisser (2010), S. 175.

¹⁰² Vgl. Gackstatter et. al (2001), S. 53; Schmeisser (2010), S. 175.

¹⁰³ Vgl. dazu und im Folgenden Kruschwitz (2005), S. 405f.

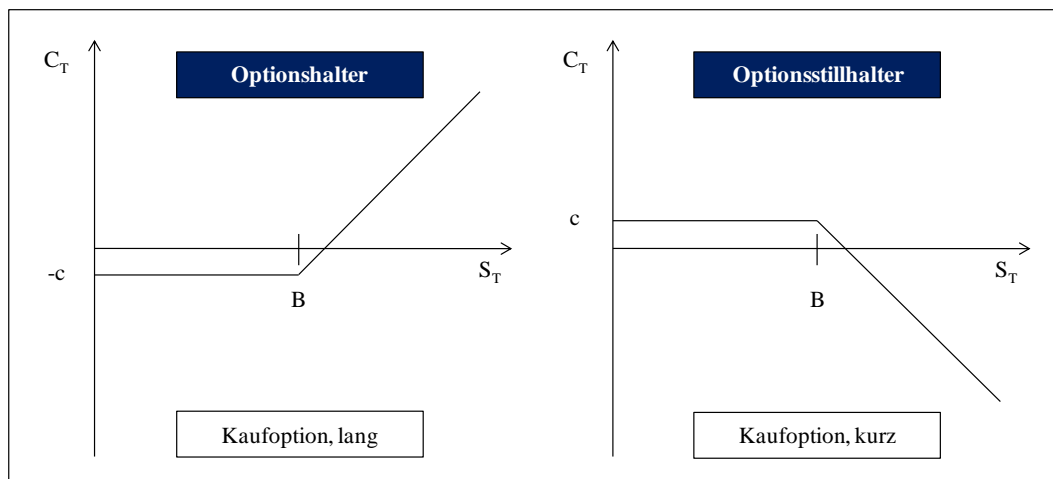


Abb. 3-1: Asymmetrische Auszahlungsstrukturen einer Kaufoption.

Quelle: In Anlehnung an Huchzermeier/Spinler (2004), S. 67.

Aus Abb. 3-1 wird ersichtlich, dass es für den Optionshalter zur Ausübung einer Kaufoption eines Basiswerts bedarf, der größer ist als der Basispreis.¹⁰⁴ In diesem Fall beträgt der Optionswert bzw. innere Wert $S_T - B$, und der Optionshalter realisiert einen Optionsgewinn / -verlust (C_d) in Höhe von $S_T - B - c$ mit c als Optionsprämie der Kaufoption. Demzufolge ist die abschließende Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Option abhängig vom Vergleich des Optionswerts mit der Optionsprämie.

Für den Fall, dass der Basiswert kleiner oder gleich dem Basispreis ist, lässt der Optionshalter sein Optionsrecht verfallen, und sein Verlust aus dem Optionsgeschäft beschränkt sich auf die gezahlte Optionsprämie. Die analytischen Zusammenhänge für den Optionswert und Optionsgewinn / -verlust einer Kaufoption aus Sicht des Optionshalters lauten wie folgt:

$$C_T = C_{in} = \begin{cases} 0 & S_T \leq B \\ S_T - B & S_T > B \end{cases} \text{ und } C_d = \begin{cases} 0 - c & S_T \leq B \\ S_T - B - c & S_T > B \end{cases}$$

Analog zum Optionswert einer Kaufoption gilt aus Sicht des Optionshalters für den Optionswert einer Verkaufsoption zum Ausübungszeitpunkt T folgende Auszahlungsstruktur:

$$P_T = P_{in} = \max(B - S_T; 0)$$

¹⁰⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Steiner/Uhlir (2001), S. 216-218.

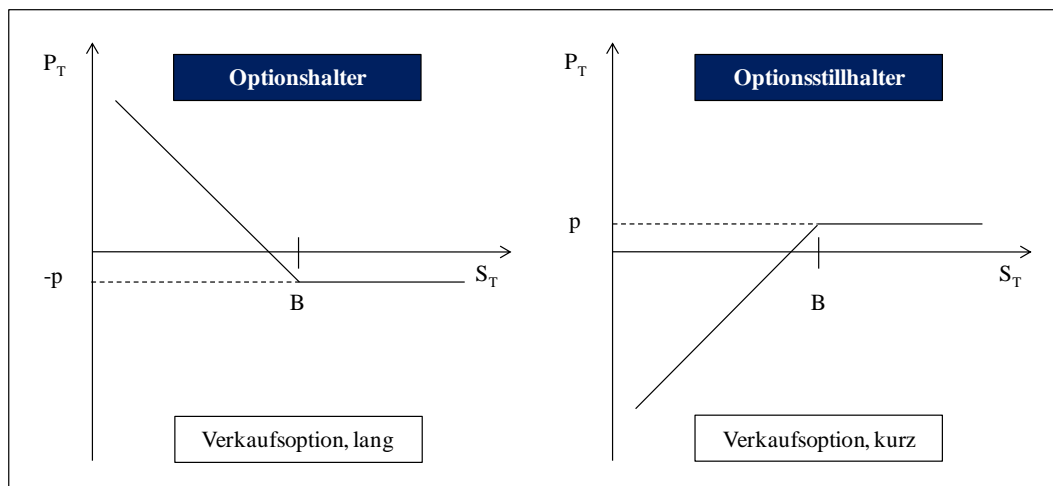


Abb. 3-2: Asymmetrische Auszahlungsstrukturen einer Verkaufsoption.

Quelle: In Anlehnung an Huchzermeier/Spinler (2004), S. 67.

Unter diesen Voraussetzungen wird der Optionshalter die Verkaufsoption nur ausüben, wenn der Basiswert geringer ist als der Basispreis. Der so erzielte Optionswert P_T bzw. innere Wert P_{in} entspricht der Differenz aus Basispreis und Basiswert ($B - S_T$). Im Resultat beträgt der Optionsgewinn / -verlust einer Verkaufsoption (P_d) $B - S_T - p$ mit p als Optionsprämie der Verkaufsoption. Für den Fall, dass der Basiswert größer oder gleich dem Basispreis ist, d.h. $S_T \geq B$, würde der Optionshalter auf die Optionsausübung verzichten, da sein Verlust so auf die Höhe der Optionsprämie begrenzt bleibt. Die Ergebnisse aus Sicht des Optionshalters im Hinblick auf den Optionswert und Optionsgewinn / -verlust einer Verkaufsoption können anhand der nachfolgenden Gleichungen nachvollzogen werden.

$$P_T = P_{in} = \begin{cases} 0 & S_T \geq B \\ B - S_T & S_T < B \end{cases} \text{ und } P_d = \begin{cases} 0 - p & S_T \geq B \\ B - S_T - p & S_T < B \end{cases}$$

Die Sichtweise eines Optionsstillhalters auf die asymmetrischen Auszahlungsstrukturen einer Kauf- bzw. Verkaufsoption ist genau entgegengesetzt der des Optionshalters und entspricht in den Abb. 3-1 und 3-2 der „Kaufoption, kurz“ bzw. „Verkaufsoption, kurz“. Aufgrund der Tatsache, dass Realoptionen eine Übertragung von Finanzoptionen auf den realwirtschaftlichen Bereich darstellen, gelten die theoretischen Grundlagen der Optionslehre für Finanz- und Realoptionsrechte gleichermaßen.

3.2. Realloptionstypologie

Die Flexibilität eines Unternehmens, auf sich verändernde Rahmenbedingungen zu reagieren, kann als Realloptionen modelliert werden und wird auf diese Weise bewertbar. In Abhängigkeit vom ökonomischen Investitionsmotiv lassen sich drei Basistypen von Realloptionen, denen die einzelnen Realloptionsarten zugeordnet werden, unterscheiden: Leroptionen, Wachstumsoptionen und Versicherungsoptionen.¹⁰⁵ Leroptionen zeichnen sich dadurch aus, dass Investitions- bzw. Desinvestitionsentscheidungen aufgeschoben und von der Entwicklung bestimmter Risikofaktoren abhängig gemacht werden können.¹⁰⁶ Dabei kann ein verbesserter Informationsstand zur (bedingten) Auflösung der (projektbezogenen) Unsicherheit beitragen. Der Realloptionswert (Real Options Value, *ROV*) ergibt sich aus der Handlungsflexibilität, auf neue Informationen warten zu können. Die beiden häufigsten Realloptionsarten dieses Basistyps sind die Warteoption (option to wait) und Investition in Stufen (option to stage investment). Warteoptionen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung eines Investitionsprojekts (*IP*) verzögert werden kann.¹⁰⁷ Die hierdurch entstehende zeitliche Handlungsflexibilität beruht häufig auf dem Erwerb von Patenten und Lizenzen, die dem Optionshalter die Exklusivität der Optionshalterschaft sichern.¹⁰⁸ Um die Wartezeit zu verkürzen und den Prozess der Informationsgewinnung währenddessen zu beschleunigen, investieren Unternehmen oftmals in Markt- und Machbarkeitsstudien. Im Rahmen einer Investition in Stufen besteht die Möglichkeit, das Investitionsprojekt in Teilprojekte zu untergliedern.¹⁰⁹ Die durch die Untergliederung entstehenden Teiloptionsrechte auf das Bündel von zukünftigen Teiloptionen bezeichnet man als Verbund- bzw. Optionsoptionen.

Wachstumsoptionen ermöglichen es dem Optionshalter, auf positive ökonomische Entwicklungen während und nach der Investitionsphase mit der Ausweitung des

¹⁰⁵ Vgl. Hommel/Pritsch (1999b), S. 125-127; Ernst/Thümmel (2000), S. 668f.; Bucher/Marbacher/Mondello (2002), S. 779f.

¹⁰⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Pritsch (1999b), S. 125f.

¹⁰⁷ Vgl. ebenda, S. 126; Bucher/Marbacher/Mondello (2002), S. 780.

¹⁰⁸ Vgl. Mostowfi (2000), S. 76.

¹⁰⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Pritsch (1999b), S. 126.

Investitionsprojekts zu reagieren.¹¹⁰ Der Realloptionswert ergibt sich aus der ex ante-Flexibilität, neue Wachstums- und Gewinnpotenziale durch Erweiterungs- und Folgeinvestitionen zu realisieren.¹¹¹ Zur Schaffung von Wachstumsoptionen bedarf es einer Anfangsinvestition, die analog zur Zahlung einer Optionsprämie zum Erwerb der Realoption(en) führt. Typischerweise werden zum einen Innovationsoptionen (option to innovate) und zum anderen Erweiterungsoptionen (option to expand, *ERO*) den Wachstumsoptionen zugeordnet.¹¹² Investitionsprojekte, deren primärer Wert in der Generierung zukünftiger, profitabler Investitionsmöglichkeiten anstelle von unmittelbaren Zahlungsrückflüssen liegt, zeichnen sich durch Innovationsoptionen aus.¹¹³ Im Rahmen solcher Pilotprojekte wird Know-how aufgebaut, das die Planung und Umsetzung von Folgeprojekten erleichtert und deren Erfolgsaussichten verbessert. Erweiterungsoptionen im Sinne von Wachstumsoptionen umfassen vor allem die Ausweitung von Produktions- und Dienstleistungskapazitäten.¹¹⁴ Beispiele hierfür sind u.a. die Erweiterung von Produktionsstandorten und die Aufstockung der Belegschaft als Reaktion auf günstige Marktentwicklungen.

Versicherungsoptionen ermöglichen es dem Unternehmen, bei einer negativen Veränderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, operative Anpassungen vorzunehmen. Analog zu Wachstumsoptionen bieten sich einem Unternehmen Versicherungsoptionen während und nach der Investitionsphase. Der Realloptionswert leitet sich aus der Reaktions- und Anpassungsfähigkeit ab. Neben Kapazitätsänderungsoptionen (option to alter scale) konstituieren vor allem Wechseloptionen (option to switch) und Abbruchs- (option to abandon, *ABO*) bzw. Schließungsoptionen (option to shut down) diesen Basistyp. Im Kontext von Versicherungsoptionen werden Kapazitätsänderungsoptionen als Einschränkungsoptionen (option to contract, *EIO*) interpretiert. Insbesondere in Branchen, die sich durch starke saisonale bzw. zyklische Nachfrageschwankungen auszeichnen, sind diese Optionen von

¹¹⁰ Vgl. ebenda, S. 126; Hommel/Müller (1999), S. 179; Bucher/Marbacher/Mondello (2002), S. 779f.

¹¹¹ Vgl. Hommel/Pritsch (1999b), S. 126.

¹¹² Vgl. Hommel/Pritsch (1999a), S. 13f.; ebenda, S. 126f.

¹¹³ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Pritsch (1999b), S. 127.

¹¹⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Pritsch (1999a), S. 13.

großer Bedeutung. Während beispielsweise die Nachfrage in der Tourismusbranche sehr stark saisonal geprägt ist, wird das weltweite Frachtvolumen in der Logistikindustrie von Konjunkturzyklen maßgeblich beeinflusst. Wechseloptionen ermöglichen es dem Optionshalter, zwischen alternativen Technologien, Produkten und Märkten zu wechseln.¹¹⁵ Beispielsweise kann eine multiple Zulieferstrategie, bei der identische Fertigungskomponenten zeitgleich von mehreren Zulieferern bezogen werden, als Wechseloption modelliert werden. Die Möglichkeit des Abbruchs eines Investitionsprojekts vor dessen Fertigstellung kommt in einer Abbruchoption zum Ausdruck.¹¹⁶ In Anlehnung daran besteht die Flexibilität einer Schließungsoption darin, ein Investitionsprojekt nach dessen Fertigstellung temporär oder sogar permanent stillzulegen. Bei der Ausübung einer Abbruchs- / Schließungsoption ist zu beachten, dass die verbliebenen, projektinhärenten Optionsrechte, insbesondere Wachstumsoptionen, verfallen.¹¹⁷

Investitionsprojekte zeichnen sich häufig durch die (zeitgleiche) Existenz verschiedener Realloptionsrechte aus, die (teilweise) in Wechselwirkungszusammenhängen zueinander stehen. Dieses Portefeuille aus Realloptionsrechten bezeichnet man als multiple Option (multiple option, *MUO*).¹¹⁸ Die nachfolgende Abb. 3-3 systematisiert Realloptionsrechte im Hinblick auf Basistypen, ökonomische Investitionsmotive und Realloptionsarten.

¹¹⁵ Vgl. Mun (2002), S. 18.

¹¹⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Pritsch (1999a), S. 13.

¹¹⁷ Vgl. Trigeorgis (1996), S. 12f.

¹¹⁸ Vgl. ebenda, S. 3.

Basistyp	Ökonomisches Investitionsmotiv	Realloptionsart
Lernoptionen	— Flexibilität Investitions- bzw. Desinvestitionsentscheidungen zu verzögern und die Entwicklung bestimmter Risikofaktoren abzuwarten	<ul style="list-style-type: none"> — Warteoption (option to wait) — Investition in Stufen (option to stage investment)
Wachstumsoptionen	— Flexibilität auf positive ökonomische Entwicklungen mit der Ausweitung des Investitionsprojekts zu reagieren	<ul style="list-style-type: none"> — Innovationsoption (option to innovate) — Erweiterungsoption (option to expand)
Versicherungsoptionen	— Flexibilität bei einer negativen Veränderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen operative Anpassungen vorzunehmen	<ul style="list-style-type: none"> — Kapazitätsänderungsoption (option to alter scale) — Wechseloption (option to switch) — Abbruchs- / Schließungsoption (option to abandon / shut down)

Abb. 3-3: Realoptionstypologie.

Quelle: In Anlehnung an Hommel/Pritsch (1999a), S. 13.

3.3. Verfahren der realoptionsbasierten Investitionsbewertung

Im Rahmen der realoptionsbasierten Investitionsbewertung wird zwischen analytischen und numerischen Verfahren unterschieden.¹¹⁹ Während analytische Verfahren zu einer geschlossenen Lösung führen, liefern numerische Verfahren keine derartige Lösung. Beide Verfahrenstypen sind verteilungsabhängig, wobei die Präferenzen des Entscheiders keine Berücksichtigung finden. Nachfolgend liegt der Fokus der Betrachtung auf dem numerischen Entscheidungsbaumverfahren, das sich als Standardverfahren der realoptionsbasierten Investitionsbewertung etabliert hat, und auf dessen Grundlagen (Ereignisbaumverfahren). Daneben wird das analytische Optionspreisverfahren nach Black und Scholes¹²⁰ aufgrund seiner mathematisch-konzeptionellen Nähe zum Entscheidungsbaumverfahren eingehend erläutert.

¹¹⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Rams (1999), S. 357.

¹²⁰ Zu den theoretischen Grundlagen des Optionspreisverfahrens siehe Black/Scholes (1973), S. 637-659.

3.3.1. Ereignisbaumverfahren

Mit Hilfe eines Ereignisbaums kann die Entwicklung der Werte eines Basisobjekts im Zeitablauf modelliert werden.¹²¹ Dabei enthalten Ereignisbäume, abgesehen vom Entscheidungsknoten zum Zeitpunkt t_0 , keine weiteren Entscheidungsknoten und stellen somit die Vorstufe zu Entscheidungsbäumen dar.¹²² Zur Darstellung eines Risikofaktors, beispielsweise der Veränderung des *NPV* eines Investitionsprojekts, können sowohl geometrische als auch arithmetische Ereignisbäume verwendet werden.¹²³ Geometrische Ereignisbäume zeichnen sich durch multiplikative Auf- und Abwärtsbewegungen aus, die zu einer Log-Normalverteilung der Ergebnisse führen, d.h. die Ergebnisse reichen von plus unendlich bis null.¹²⁴ Im Unterschied dazu weisen arithmetische Ereignisbäume additive Auf- und Abwärtsbewegungen auf.¹²⁵ Infolgedessen nähern sich die Ergebnisse einer Normalverteilung mit Werten zwischen plus und minus unendlich an. Im weiteren Verlauf finden aufgrund der höheren Plausibilität des Wertebereichs bei Investitionsprojekten ausschließlich geometrische Ereignisbäume Anwendung.

Die konzeptionellen Grundlagen des Ereignisbaumverfahrens werden anhand eines Beispiels veranschaulicht, dem folgende Annahmen zugrunde liegen:

- *NPV* des Investitionsprojekts: 100,00 Mio. € (exkl. Anfangsinvestition)
- Anfangsinvestition in t_0 : 105,00 Mio. €
- Risikofaktor: Veränderung des *NPV* im Zeitablauf
- Investitionsprojektdauer: 5 Jahre
- Risikoloser Zinssatz: 5,00% p.a.
- Konstante Volatilität im Zeitablauf: 20,00%

Den Ausgangspunkt des Ereignisbaums bildet der *NPV* (Basiswert) des Investitionsprojekts (Basisobjekt) zum Zeitpunkt t_0 . Von diesem Initialknoten aus werden die Äste des Baums durch Aufwärts- und Abwärtsbewegungen rekombinierend modelliert. Die so entstehenden rekombinierenden Binomialprozesse basieren auf

¹²¹ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 480.

¹²² Vgl. ebenda, S. 480; Perridon/Steiner (2007), S. 121.

¹²³ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 480.

¹²⁴ Vgl. ebenda, S. 480; Copeland/Tufano (2004), S. 80.

¹²⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 480.

der Annahme einer konstanten Volatilität im Zeitablauf und zeichnen sich durch folgende Kommutativität aus:¹²⁶

$$u_i \cdot d_{i+1} = d_i \cdot u_{i+1}$$

$$u_0 \cdot d_1 = d_0 \cdot u_1$$

u_i : Aufwärtsbewegung der Zeitperiode i

d_i : Abwärtsbewegung der Zeitperiode i

Mit anderen Worten, der Basiswert $S_{i,j}$ nach einer Auf- und einer Abwärtsbewegung entspricht dem Basiswert $S_{i+2,j+1}$, unabhängig davon, welche der beiden Bewegungen zuerst nachvollzogen wird. i steht dabei für die Anzahl der Zeitperioden Δt und j für die Anzahl der Knoten zum Zeitpunkt t . Δt bezeichnet wiederum die Länge einer Zeitperiode, wobei annahmegemäß alle Zeitperioden die gleiche Länge aufweisen. Im vorliegenden Beispiel umfasst eine Zeitperiode ein Jahr, so dass gilt:

$$\Delta t = 1$$

Durch die Granularität des Ereignis- und damit auch des Entscheidungsbaums wird die Konvergenz des Entscheidungsbaumverfahrens und Optionspreisverfahrens nach Black und Scholes (vgl. Kapitel 3.3.3) für $\Delta t \rightarrow 0$ gewährleistet.¹²⁷

Davon abzugrenzen sind nicht-rekombinierende Binomialprozesse, bei denen sich die Volatilität im Zeitablauf verändert, so dass infolgedessen die Kommutativität aufgehoben wird.¹²⁸

$$u_i \cdot d_{i+1} \neq d_i \cdot u_{i+1}$$

$$u_0 \cdot d_1 \neq d_0 \cdot u_1$$

Ein Ereignisbaum, bestehend aus nicht-rekombinierenden Binomialprozessen, verzweigt sich schneller, da die Knoten nach einer Auf- und einer Abwärtsbewegung nicht wieder zusammengeführt werden, sondern stattdessen gilt:

$$S_{i,j} \neq S_{i+2,j+1} \neq S_{i+2,j+2}$$

¹²⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Mun (2002) 141-143; Kruschwitz (2005), S. 407f.

¹²⁷ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 184.

¹²⁸ Vgl. Mun (2002), S. 142.

$$S_{0,0} \neq S_{2,1} \neq S_{2,2}$$

Die bereits angesprochenen Auf- und Abwärtsbewegungen werden, basierend auf dem Ansatz von Cox, Ross und Rubinstein,¹²⁹ über folgende Formeln bestimmt:¹³⁰

- Aufwärtsbewegung - allgemein

$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}}$$

- Aufwärtsbewegung - Beispiel

$$u = e^{0,20 \cdot \sqrt{1,00}} = \mathbf{1,22}$$

- Abwärtsbewegung - allgemein

$$d = \frac{1}{u} = u^{-1} = e^{-\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}}$$

- Abwärtsbewegung - Beispiel

$$d = \frac{1}{1,22} = \mathbf{0,82}$$

In der Literatur wird u oftmals als *up*-Faktor (upside potential) und d als *down*-Faktor (downside risk) bezeichnet, wobei stets gilt:¹³¹

$$u > 1 > d$$

Die Grenzwertbetrachtung der Aufwärts- und Abwärtsbewegungen liefert die Erklärung für die Log-Normalverteilung der Ergebnisse bei geometrischen Ereignisbäumen.¹³²

$$\lim_{i \rightarrow \infty} u^i \rightarrow \infty$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} d^i = 0$$

Während die multiplikativ miteinander verknüpften Aufwärtsbewegungen u^i bei einer unendlichen Anzahl an Zeitperioden gegen plus unendlich streben, konvergieren die Abwärtsbewegungen d^i gegen null. Auf der Grundlage des *up*- und

¹²⁹ Vgl. Cox/Ross/Rubinstein (1979), S. 229-263.

¹³⁰ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 184; Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 481; Mun (2002), S. 144; Copeland/Tufano (2004), S. 80.

¹³¹ Vgl. Kruschwitz (2005), S. 406f.

¹³² In Anlehnung an Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 481.

down-Faktors erfolgt die Berechnung des Basiswerts $S_{i,j}$ an jedem Knoten j zum Zeitpunkt $i \cdot \Delta t$ über nachfolgenden Zusammenhang:¹³³

- Basiswert - klassische Berechnung - allgemein

$$S_{i,j} = S_{0,0} \cdot u^j \cdot d^{i-j}$$

- Basiswert - klassische Berechnung - Beispiel

$$\begin{aligned} S_{3,1} &= S_{0,0} \cdot u^1 \cdot d^{3-1} = S_{0,0} \cdot u \cdot d^2 = \\ &= 100,00 \text{ Mio. €} \cdot 1,22 \cdot 0,82^2 = \mathbf{81,87 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

Entscheidend für die Gültigkeit dieser Formel ist zum einen, dass i und j nur ganzzahlige Werte einschließlich Null ($i, j \in \mathbb{N}_0$) annehmen können und zum anderen die absteigende Nummerierung der Knoten mit $j = 0$ als Endknoten.

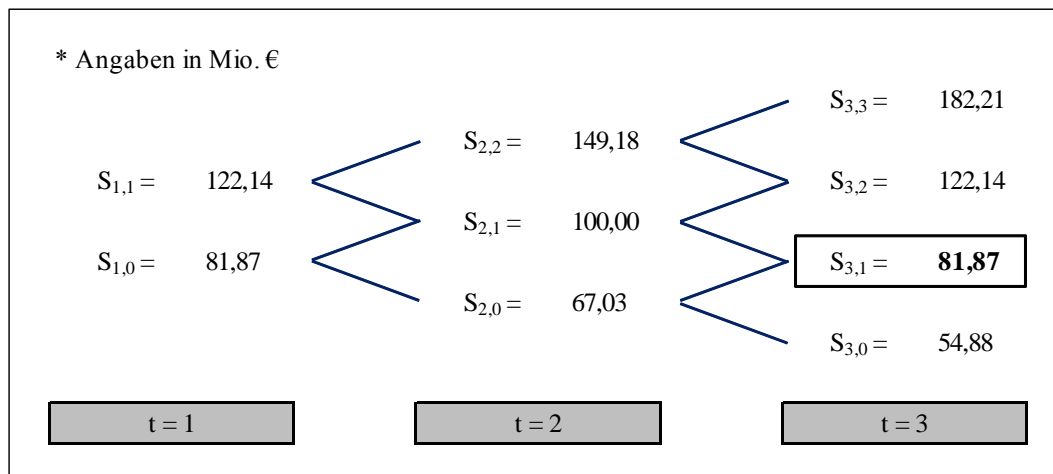


Abb. 3-4: Ereignisbaum (Ausschnitt).

Quelle: In Anlehnung an Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 480.

Neben der Berechnung des Ereignisbaums mittels der Parameter u und d können die Basiswerte auch rekursiv, d.h. von den Endknoten ausgehend, bestimmt werden. Dazu ist die Kenntnis der risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten eines Wertanstiegs (q) bzw. einer Wertminderung ($1 - q$) erforderlich.¹³⁴

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Wertanstieg - allgemein

$$q = \frac{1 + r_f - d}{u - d}$$

¹³³ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 184.

¹³⁴ Vgl. Cox/Ross/Rubinstein (1979), S. 234; ebenda, S. 184f.; Copeland/ Koller/Murrin (2002), S. 481f.

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Wertanstieg - Beispiel

$$q = \frac{1 + 0,05 - 0,82}{1,22 - 0,82} = \frac{1,05 - 0,82}{1,22 - 0,82} = \mathbf{57,43\%}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Wertminderung - allgemein

$$1 - q = 1 - \frac{1 + r_f - d}{u - d}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Wertminderung - Beispiel

$$1 - q = 1 - 0,5743 = \mathbf{42,57\%}$$

Dabei kann q als die Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, mit der der Basiswert $S_{i,j}$ innerhalb einer Zeitperiode einen Wertanstieg in Höhe des *up*-Faktors erfährt.¹³⁵ Im Umkehrschluss gibt $1 - q$ die Gegenwahrscheinlichkeit an, mit der der Basiswert $S_{i,j}$ innerhalb einer Zeitperiode um den *down*-Faktor an Wert verliert. Demnach lautet der analytische Zusammenhang für die rekursive Berechnung der Basiswerte wie folgt:¹³⁶

- Basiswert - rekursive Berechnung - allgemein

$$S_{i,j} = \frac{q \cdot S_{i+1,j+1} + (1 - q) \cdot S_{i+1,j}}{(1 + r_f)^{\Delta t}}$$

- Basiswert - rekursive Berechnung - Beispiel

$$\begin{aligned} S_{3,1} &= \frac{0,5743 \cdot S_{4,2} + 0,4257 \cdot S_{4,1}}{(1 + 0,05)^1} = \\ &= \frac{0,5743 \cdot 100,00 \text{ Mio. €} + 0,4257 \cdot 67,03 \text{ Mio. €}}{1,05} = \mathbf{81,87 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

Der Basiswert $S_{i,j}$ zum Zeitpunkt $i \cdot \Delta t$ entspricht der Summe der gewichteten, diskontierten Basiswerte $S_{i+1,j+1}$ und $S_{i+1,j}$ zum Zeitpunkt $(i + 1) \cdot \Delta t$. Als Gewichtungsfaktoren dienen die risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten einer positiven (q) bzw. negativen ($1 - q$) Wertentwicklung, während zur Diskontierung der risikolose Zinssatz herangezogen wird. Die Verwendung risikoneutraler (präferenzfreier) Wahrscheinlichkeiten und des risikolosen Zinssatzes sind Ausdruck dessen, dass die Präferenzen bzw. Risikoneigung des Entscheiders in diesem Verfahren

¹³⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Cox/Ross/Rubinstein (1979), S. 234f.; Kruschwitz (2005), S. 406f.

¹³⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Cox/Ross/Rubinstein (1979), S. 234; Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 482; Hommel/Pritsch (1999a), S. 136.

nicht berücksichtigt werden.¹³⁷ Das Problem der Ermittlung und Einbeziehung risikoadjustierter Kapitalkostensätze stellt sich daher bei der risikoneutralen Bewertung nicht. Die klassische wie auch die rekursive Berechnung der Basiswerte führt im Rahmen des Ereignisbaumverfahrens zu den gleichen Ergebnissen, da bei der Modellierung von Ergebnisbäumen keine Flexibilität in Form von Realoptionen berücksichtigt wird.

3.3.2. Entscheidungsbaumverfahren

Entscheidungsbaume zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach dem Prinzip der flexiblen Planung konzipiert sind.¹³⁸ Dabei ist der Projektverlauf nicht deterministisch vorgegeben, sondern wird vielmehr von den im Zeitverlauf eintretenden Umweltzuständen abhängig gemacht. Entscheidungsbaume stellen insofern eine Erweiterung von Ereignisbäumen dar, als dass sie über den Entscheidungsknoten in t_0 hinaus weitere Entscheidungsknoten besitzen.¹³⁹ Demzufolge wird der Verlauf des Investitionsprojekts durch eine zu Beginn getroffene Entscheidung nicht unveränderlich determiniert.¹⁴⁰ Stattdessen sind bedingte Folgeentscheidungen im Zeitablauf möglich, welche die ursprüngliche Entscheidung ganz oder teilweise revidieren können. Somit können die Auswirkungen von Handlungsflexibilitäten auf den erwarteten Zahlungsstrom eines Investitionsprojekts mittels des Entscheidungsbaumverfahrens quantifiziert werden.¹⁴¹ Die Vorteilhaftigkeit eines Investitionsprojekts ist grundsätzlich höher, je mehr Handlungsoptionen offen gehalten werden.¹⁴² Beim Entscheidungsbaumverfahren stellt „jeder Pfad vom Ursprung eines Entscheidungsbaums, dem ersten Entscheidungsknoten, über verschiedene Zufallsereignisknoten und weitere Entscheidungsknoten zu den Endpunkten – den Ergebnisknoten – [...] eine vollständige Entscheidung dar.“¹⁴³ Auf diese Weise kön-

¹³⁷ Vgl. Cox/Ross/Rubinstein (1979), S. 235.

¹³⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 126.

¹³⁹ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 482; ebenda, S. 121 und S. 126.

¹⁴⁰ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 121 und S. 126; Gackstatter et. al (2001), S. 50.

¹⁴¹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 121 und S. 126.

¹⁴² Vgl. ebenda, S. 126.

¹⁴³ Ebenda, S. 121.

nen komplexe Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit strukturiert und infolgedessen optimiert werden.¹⁴⁴ Mit Hilfe des Entscheidungsbaumverfahrens können somit alle in Betracht gezogenen zukünftigen Alternativen berücksichtigt werden, wobei insbesondere bei sehr großen Entscheidungsproblemen eine Komplexitätsreduktion in der Definitionsphase des Entscheidungsbaums zu empfehlen ist.¹⁴⁵ Im Folgenden wird auf der Basis der Ergebnisse des Ereignisbaumverfahrens das Entscheidungsbaumverfahren anhand der getrennten Modellierungen einer Erweiterungs-, Einschränkung- und Abbruchoption eingehend erläutert. Abschließend erfolgt die Lösung eines Entscheidungsbaums unter Einbeziehung aller drei genannten Realloptionsarten.

3.3.2.1. Erweiterungsoption

Auf der Grundlage der in Kapitel 3.3.1 vorgestellten Projektannahmen wird die Erweiterungsoption¹⁴⁶ als amerikanische Kaufoption modelliert, die jederzeit während der Projektlaufzeit ($T = 5$) ausgeübt werden kann. Die Projekterweiterung wird durch den Erweiterungsfaktor k und die Erweiterungsaufwendungen K quantifiziert. Im vorliegenden Fall besitzt der Erweiterungsfaktor einen Wert von 0,20 und die Erweiterungsaufwendungen belaufen sich auf 20,00 Mio. €; mit anderen Worten, eine Erweiterung des Projekts um 20,00% kostet das Unternehmen 20,00 Mio. €. Im Rahmen der Realoptionsbewertung dieser Erweiterungsoption lautet die Entscheidungsregel zur Bestimmung des um den Realoptionswert erweiterten Kapitalwerts (Extended Net Present Value, *ENPV*) an den Endknoten wie folgt:¹⁴⁷

- Entscheidungsregel - Endknoten - Erweiterungsoption - allgemein

$$ENPV_{i,j,ERO} = ENPV_{5,j,ERO} = \text{Max}(S_{5,j}; (1 + k) \cdot S_{5,j} - K)$$

- Entscheidungsregel - Endknoten - Erweiterungsoption - Beispiel

$$ENPV_{5,3,ERO} = \text{Max}(S_{5,3}; (1 + 0,20) \cdot S_{5,3} - 20,00 \text{ Mio. €}) =$$

¹⁴⁴ Vgl. ebenda, S. 121; Gackstatter et. al (2001), S. 50.

¹⁴⁵ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 121.

¹⁴⁶ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „Erweiterungsoption“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

¹⁴⁷ Vgl. dazu und im Folgenden Hommel/Müller (1999), S. 185.

$$= \text{Max}(122,14 \text{ Mio. €}; 1,20 \cdot 122,14 \text{ Mio. €} - 20,00 \text{ Mio. €}) =$$

$$= \mathbf{126,57 \text{ Mio. €}}$$

Aus Abb. 3-5 wird ersichtlich, dass die Erweiterungsoption nur an den oberen drei Endknoten ($ENPV_{5,5,ERO}$, $ENPV_{5,4,ERO}$, $ENPV_{5,3,ERO}$) ausgeübt wird, während sie an den unteren drei Endknoten ($ENPV_{5,2,ERO}$, $ENPV_{5,1,ERO}$, $ENPV_{5,0,ERO}$) aufgrund der negativen Basiswertentwicklung verfällt. Analog zur Entscheidungsregel an den Endknoten wird der erweiterte Kapitalwert an den vorhergehenden Knoten anhand folgender Berechnungsformel bestimmt:

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Erweiterungsoption - allgemein

$$ENPV_{i,j,ERO} = \text{Max}\left(\frac{q \cdot ENPV_{i+1,j+1,ERO} + (1-q) \cdot ENPV_{i+1,j,ERO}}{(1+r_f)^{\Delta t}}; (1+k) \cdot S_{i,j} - K\right)$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Erweiterungsoption - Beispiel

$$ENPV_{4,2,ERO} = \text{Max}\left(\frac{0,5743 \cdot ENPV_{5,3,ERO} + (1-0,5743) \cdot ENPV_{5,2,ERO}}{(1+0,05)^1};\right.$$

$$\left.(1+0,20) \cdot S_{4,2} - 20,00 \text{ Mio. €}\right) =$$

$$= \text{Max}\left(\frac{0,5743 \cdot 126,57 \text{ Mio. €} + 0,4257 \cdot 81,87 \text{ Mio. €}}{1,05};\right.$$

$$\left.1,20 \cdot 100,00 \text{ Mio. €} - 20,00 \text{ Mio. €}\right) = \mathbf{102,42 \text{ Mio. €}}$$

Diese rekursive Vorgehensweise führt zur Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts und des daraus abgeleiteten Realoptionswerts (Real Option Value, *ROV*) zum Zeitpunkt t_0 und wird als Roll-Back-Verfahren bezeichnet, da die Optimierung vom Projektende her erfolgt.¹⁴⁸ Die Entscheidungen an den Endknoten, d.h. am Ende der Projektlaufzeit, werden zuerst getroffen und bilden die Grundlage der weiteren Optimierung bis zum gegenwärtigen Entscheidungszeitpunkt t_0 . Der erweiterte Kapitalwert des Projekts unter Berücksichtigung der Erweiterungsoption beläuft sich auf 105,86 Mio. €.

$$ENPV_{0,0,ERO} = ENPV_{ERO} = \mathbf{105,86 \text{ Mio. €}}$$

¹⁴⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 124.

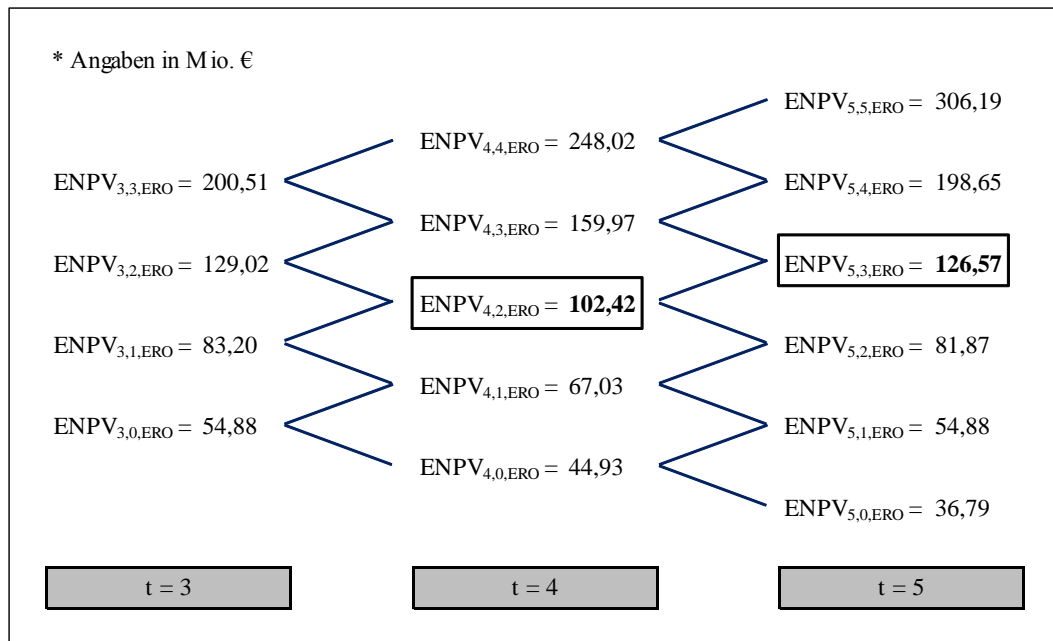


Abb. 3-5: Erweiterungsoption (Ausschnitt).

Quelle: In Anlehnung an Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 483.

Der Realoptionswert der Erweiterungsoption ergibt sich aus der Differenz von erweitertem Kapitalwert und Kapitalwert ohne Flexibilität.

- Realoptionswert - allgemein

$$ROV = ENPV - NPV$$

- Realoptionswert - Erweiterungsoption - allgemein

$$ROV_{ERO} = ENPV_{ERO} - NPV$$

- Realoptionswert - Erweiterungsoption - Beispiel

$$ROV_{ERO} = 105,86 \text{ Mio. €} - 100,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{5,86 \text{ Mio. €}}$$

Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit des Projekts bedarf es des Vergleichs von erweitertem Kapitalwert und Anfangsinvestition in t_0 . Aufgrund der positiven Differenz

$$ENPV_{ERO} - A_0 = 105,86 \text{ Mio. €} - 105,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{0,86 \text{ Mio. €}}$$

ist die Projektdurchführung zu empfehlen. Ohne die Berücksichtigung der Handlungsflexibilität in Form der Projekterweiterung wäre das Projekt mit einem negativen Kapitalwert von 5,00 Mio. € abgelehnt worden.

$$NPV - A_0 = 100,00 \text{ Mio. €} - 105,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{-5,00 \text{ Mio. €}}$$

3.3.2.2. Einschränkungsoption

Analog zur Erweiterungsoption basiert die Modellierung einer Einschränkungsoption¹⁴⁹ auf der Festlegung des Einschränkungsfaktors m und der Einschränkungserträge M . Zu jedem Zeitpunkt besitzt das Unternehmen die Möglichkeit, dass Investitionsprojekt um 15,00% ($m = 0,15$) einzuschränken, und dadurch Einsparungen in Höhe von 20,00 Mio. € ($M = 20,00 \text{ Mio. €}$) zu erzielen. Im Zuge der Realoptionsbewertung dieser Einschränkungsoption wird die Entscheidung an den Endknoten auf der Basis des nachfolgenden Zusammenhangs getroffen:¹⁵⁰

- Entscheidungsregel - Endknoten - Einschränkungsoption - allgemein

$$ENPV_{i,j,EIO} = ENPV_{5,j,EIO} = \text{Max}(S_{5,j}; (1 - m) \cdot S_{5,j} + M)$$

- Entscheidungsregel - Endknoten - Einschränkungsoption - Beispiel

$$\begin{aligned} ENPV_{5,3,EIO} &= \text{Max}(S_{5,3}; (1 - 0,15) \cdot S_{5,3} + 20,00 \text{ Mio. €}) = \\ &= \text{Max}(122,14 \text{ Mio. €}; 0,85 \cdot 122,14 \text{ Mio. €} + 20,00 \text{ Mio. €}) = \\ &= \mathbf{123,82 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

Aufgrund der positiven Basiswertentwicklung wird die Einschränkungsoption an den obersten beiden Endknoten ($ENPV_{5,5,EIO}$, $ENPV_{5,4,EIO}$) nicht genutzt. Im Gegensatz dazu fällt an den verbleibenden vier Endknoten ($ENPV_{5,3,EIO}$, $ENPV_{5,2,EIO}$, $ENPV_{5,1,EIO}$, $ENPV_{5,0,EIO}$) die Entscheidung zugunsten einer Projekteinschränkung aus. Im Rahmen der rekursiven Berechnung der erweiterten Kapitalwerte bei dieser Einschränkungsoption lautet die Bewertungsformel an den Nicht-Endknoten wie folgt:

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Einschränkungsoption - allgemein

$$ENPV_{i,j,EIO} = \text{Max}\left(\frac{q \cdot ENPV_{i+1,j+1,EIO} + (1 - q) \cdot ENPV_{i+1,j,EIO}}{(1 + r_f)^{\Delta t}}; (1 - m) \cdot S_{i,j} + M\right)$$

¹⁴⁹ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „Einschränkungsoption“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

¹⁵⁰ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 483-485.

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Einschränkungsoption - Beispiel

$$\begin{aligned}
 ENPV_{4,2,EIO} &= \text{Max} \left(\frac{0,5743 \cdot ENPV_{5,3,EIO} + (1 - 0,5743) \cdot ENPV_{5,2,EIO}}{(1 + 0,05)^1}; \right. \\
 &(1 - 0,15) \cdot S_{4,2} + 20,00 \text{ Mio. €}) = \\
 &= \text{Max} \left(\frac{0,5743 \cdot 123,82 \text{ Mio. €} + 0,4257 \cdot 89,59 \text{ Mio. €}}{1,05}; \right. \\
 &0,85 \cdot 100,00 \text{ Mio. €} + 20,00 \text{ Mio. €}) = \mathbf{105,00 \text{ Mio. €}}
 \end{aligned}$$

Daraus resultierend ergibt sich für den erweiterten Kapitalwert der beschriebenen Einschränkungsoption zum Zeitpunkt t_0 ein Wert von 105,00 Mio. €, wodurch der Realoptionswert dieser Einschränkungsoption 5,00 Mio. € beträgt.

- Realoptionswert - Einschränkungsoption - allgemein

$$ROV_{EIO} = ENPV_{EIO} - NPV$$

- Realoptionswert - Einschränkungsoption - Beispiel

$$ROV_{EIO} = 105,00 \text{ Mio. €} - 100,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{5,00 \text{ Mio. €}}$$

Da dem erweiterten Kapitalwert von 105,00 Mio. € Anfangsinvestitionen in gleicher Höhe gegenüberstehen, besteht für das Unternehmen eine Entscheidungsindifferenz bezüglich der Projektdurchführung.

$$ENPV_{EIO} - A_0 = 105,00 \text{ Mio. €} - 105,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{0,00 \text{ Mio. €}}$$

In der Abb. 3-6 wird der Entscheidungsbaum der Einschränkungsoption ausschnittsweise für den Zeitraum t_5 bis t_3 dargestellt.

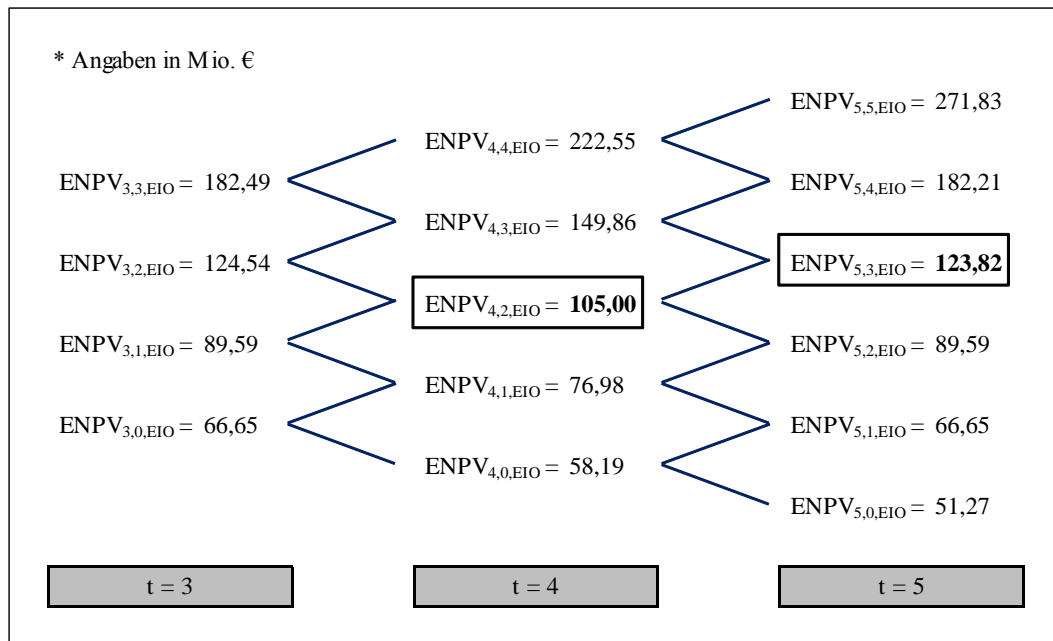


Abb. 3-6: Einschränkungsoption (Ausschnitt).

Quelle: In Anlehnung an Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 484.

3.3.2.3. Abbruchsoption

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Modellierung der Erweiterungs- und Einschränkungsoption wird im Folgenden eine Abbruchsoption¹⁵¹ als amerikanische Verkaufsoption modelliert. Der Liquidationserlös L des Projekts in Höhe von 80,00 Mio. € stellt dabei den Basispreis dar. Somit besitzt das Unternehmen die Handlungsflexibilität, das Projekt zu jedem beliebigen Zeitpunkt während der Projektdauer von fünf Jahren abzuberechnen und den Liquidationserlös zu realisieren. Im Rahmen der realoptionsbasierten Investitionsbewertung dieser Abbruchsoption wird die Entscheidung an den Endknoten anhand der folgenden Entscheidungsregel getroffen:¹⁵²

- Entscheidungsregel - Endknoten - Abbruchsoption - allgemein

$$ENPV_{i,j,ABO} = ENPV_{5,j,ABO} = \text{Max}(S_{5,j}; L)$$

- Entscheidungsregel - Endknoten - Abbruchsoption - Beispiel

$$ENPV_{5,3,ABO} = \text{Max}(S_{5,3}; 80,00 \text{ Mio. €}) =$$

¹⁵¹ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „Abbruchsoption“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

¹⁵² Vgl. dazu und im Folgenden Huchzermeier/Spinler (2004), S. 69.

$$= \text{Max}(122,14 \text{ Mio. €}; 80,00 \text{ Mio. €}) = \mathbf{122,14 \text{ Mio. €}}$$

Die Entwicklung des Basiswerts führt dazu, dass an den oberen vier Endknoten ($ENPV_{5,5,ABO}$, $ENPV_{5,4,ABO}$, $ENPV_{5,3,ABO}$, $ENPV_{5,2,ABO}$) eine Optionsausübung unterbleibt. Nur an den beiden unteren Endknoten ($ENPV_{5,1,ABO}$, $ENPV_{5,0,ABO}$) erfolgt der Projektabbruch und damit die Realisierung des Liquidationserlöses. Die Bewertungsformel zur Optimierung der erweiterten Kapitalwerte an den Nicht-Endknoten kann aus der Entscheidungsregel an den Endknoten abgeleitet werden.

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Abbruchsoption - allgemein

$$ENPV_{i,j,ABO} = \text{Max} \left(\frac{q \cdot ENPV_{i+1,j+1,ABO} + (1-q) \cdot ENPV_{i+1,j,ABO}}{(1+r_f)^{\Delta t}}; L \right)$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Abbruchsoption - Beispiel

$$ENPV_{4,2,ABO} = \text{Max} \left(\frac{0,5743 \cdot ENPV_{5,3,ABO} + (1-0,5743) \cdot ENPV_{5,2,ABO}}{(1+0,05)^1}; \right.$$

$$80,00 \text{ Mio. €}) = \text{Max} \left(\frac{0,5743 \cdot 122,14 \text{ Mio. €} + 0,4257 \cdot 81,87 \text{ Mio. €}}{1,05}; \right.$$

$$80,00 \text{ Mio. €}) = \mathbf{100,00 \text{ Mio. €}}$$

Der so ermittelte erweiterte Kapitalwert zum Zeitpunkt t_0 bei dieser Abbruchsoption beträgt 103,09 Mio. € und liegt damit 3,09 Mio. € über dem Kapitalwert des Projekts ohne Flexibilität.

- Realoptionswert - Abbruchsoption - allgemein

$$ROV_{ABO} = ENPV_{ABO} - NPV$$

- Realoptionswert - Abbruchsoption - Beispiel

$$ROV_{ABO} = 103,09 \text{ Mio. €} - 100,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{3,09 \text{ Mio. €}}$$

Ogleich des Realoptionswerts von 3,09 Mio. € würde sich das Unternehmen aufgrund der negativen Differenz von erweitertem Kapitalwert und Anfangsinvestition gegen die Projektdurchführung entscheiden.

$$ENPV_{ABO} - A_0 = 103,09 \text{ Mio. €} - 105,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{-1,91 \text{ Mio. €}}$$

Anhand der nachfolgenden Abb. 3-7 kann die Herleitung des erweiterten Kapitalwerts der analysierten Abbruchsoption nachvollzogen werden.

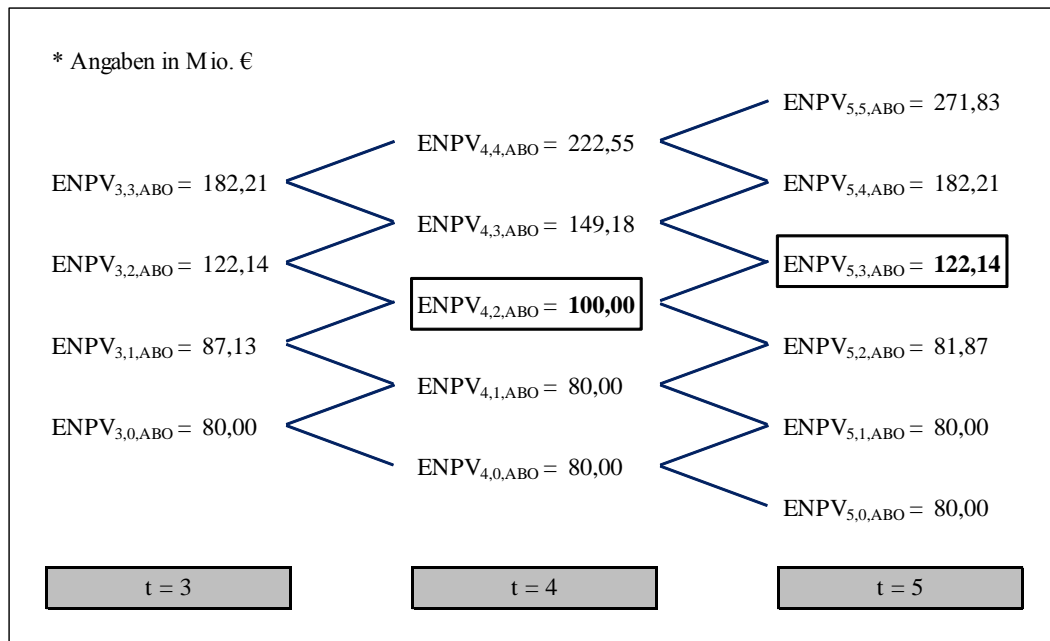


Abb. 3-7: Abbruchoption (Ausschnitt).

Quelle: In Anlehnung an Huchzermeier/Spinler (2004), S. 69.

3.3.2.4. Multiple Option

Den Abschluss der realoptionsbasierten Investitionsbewertung mittels des Entscheidungsbaumverfahrens bildet die Modellierung einer multiplen Option¹⁵³ bestehend aus einer Erweiterungs-, Einschränkung- und Abbruchoption.¹⁵⁴ Die bisher verwendeten allgemeinen und realoptionsspezifischen Projektannahmen bleiben dabei unverändert, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen. Infolgedessen kann das Unternehmen zu jedem Zeitpunkt während der Projektlaufzeit folgende Realoptionen ausüben:

- Erweiterung des Projekts um 20,00% durch zusätzliche Investitionen in Höhe von 20,00 Mio. €
- Einschränkung des Projekts um 15,00% und damit verbundene Einsparungen von 20,00 Mio. €
- Abbruch des Projekts mit einem Liquidationserlös von 80,00 Mio. €

¹⁵³ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „Multiple Option“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

¹⁵⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 485f.

Die Struktur der Entscheidungsregel an den Endknoten reflektiert die Komplexität der Entscheidung bei Berücksichtigung dieser multiplen Realoption.

- Entscheidungsregel - Endknoten - Multiple Option - allgemein

$$\begin{aligned} ENPV_{i,j,MUO} &= ENPV_{5,j,MUO} = \\ &= \text{Max}(S_{5,j}; (1+k) \cdot S_{5,j} - K; (1-m) \cdot S_{5,j} + M; L) \end{aligned}$$

- Entscheidungsregel - Endknoten - Multiple Option - Beispiel

$$\begin{aligned} ENPV_{5,3,MUO} &= \text{Max}(S_{5,3}; (1+0,20) \cdot S_{5,3} - 20,00 \text{ Mio. €}; \\ &(1-0,15) \cdot S_{5,3} + 20,00 \text{ Mio. €}; 80,00 \text{ Mio. €}) = \\ &= \text{Max}(122,14 \text{ Mio. €}; 1,20 \cdot 122,14 \text{ Mio. €} - 20,00 \text{ Mio. €}; \\ &0,85 \cdot 122,14 \text{ Mio. €} + 20,00 \text{ Mio. €}; 80,00 \text{ Mio. €}) = \\ &= \mathbf{126,57 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

Das Ergebnis von 126,57 Mio. € am Endknoten $ENPV_{5,3,MUO}$ zeigt, dass die Entscheidung zugunsten der Projekterweiterung ausgefallen ist.

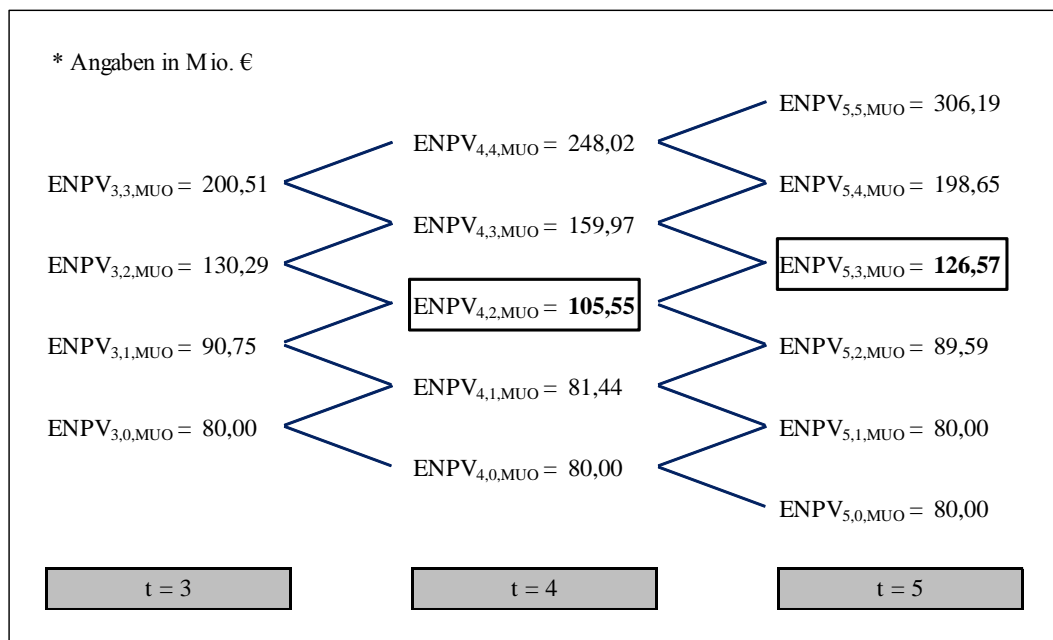


Abb. 3-8: Multiple Option (Ausschnitt).

Quelle: In Anlehnung an Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 486.

Die Abb. 3-8 visualisiert zum einen die Entscheidungen an den Endknoten und zum anderen die rekursive Bestimmung der erweiterten Kapitalwerte dieser multiplen Option.

- $ENPV_{5,5,MUO}$: Projekterweiterung
- $ENPV_{5,4,MUO}$: Projekterweiterung
- $ENPV_{5,3,MUO}$: Projekterweiterung
- $ENPV_{5,2,MUO}$: Projekteinschränkung
- $ENPV_{5,1,MUO}$: Projektabbruch
- $ENPV_{5,0,MUO}$: Projektabbruch

Anhand dieser Ergebnisse wird deutlich, dass an jedem Endknoten eine der drei Realloptionsarten (Erweiterung, Einschränkung, Abbruch) ausgeübt wird. Die Projekterweiterung erfolgt dabei unter der Maxime der Verbesserung guter Ergebnisse, wo hingegen die Projekteinschränkung bzw. der Projektabbruch als Verhinderung schlechter Ergebnisse interpretiert werden können. Im Rahmen der rekursiven Berechnung der erweiterten Kapitalwerte an den Nicht-Endknoten kommt die folgende Bewertungsformel zur Anwendung:

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Multiple Option - allgemein

$$ENPV_{i,j,MUO} = \text{Max} \left(\frac{q \cdot ENPV_{i+1,j+1,MUO} + (1 - q) \cdot ENPV_{i+1,j,MUO}}{(1 + r_f)^{\Delta t}}; \right. \\ \left. (1 + k) \cdot S_{i,j} - K; (1 - m) \cdot S_{i,j} + M; L \right)$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Multiple Option - Beispiel

$$ENPV_{4,2,MUO} = \text{Max} \left(\frac{0,5743 \cdot ENPV_{5,3,MUO} + (1 - 0,5743) \cdot ENPV_{5,2,MUO}}{(1 + 0,05)^1}; \right. \\ \left. (1 + 0,20) \cdot S_{4,2} - 20,00 \text{ Mio. €}; (1 - 0,15) \cdot S_{4,2} + 20,00 \text{ Mio. €}; 80,00 \text{ Mio. €} \right) = \\ = \text{Max} \left(\frac{0,5743 \cdot 126,57 \text{ Mio. €} + 0,4257 \cdot 89,59 \text{ Mio. €}}{1,05}; \right. \\ \left. 1,20 \cdot 100,00 \text{ Mio. €} - 20,00 \text{ Mio. €}; 0,85 \cdot 100,00 \text{ Mio. €} + 20,00 \text{ Mio. €}; \right. \\ \left. 80,00 \text{ Mio. €} \right) = \mathbf{105,55 \text{ Mio. €}}$$

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt t_0 beträgt der auf diese Weise berechnete erweiterte Kapitalwert der multiplen Option 110,03 Mio. € gegenüber einem Kapitalwert ohne Flexibilität von 100,00 Mio. €. Aus der Differenz des erweiterten Kapitalwerts und Kapitalwerts ohne Flexibilität ergibt sich für diese multiple Option ein Realoptionswert von 10,03 Mio. €.

- Realoptionswert - Multiple Option - allgemein

$$ROV_{MUO} = ENPV_{MUO} - NPV$$

➤ Realoptionswert - Multiple Option - Beispiel

$$ROV_{MUO} = 110,03 \text{ Mio. €} - 100,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{10,03 \text{ Mio. €}}$$

Aufgrund der Tatsache, dass der erweiterte Kapitalwert die Anfangsinvestition um 5,03 Mio. € übersteigt, ist die Realisierung des Projekts zu empfehlen.

$$ENPV_{MUO} - A_0 = 110,03 \text{ Mio. €} - 105,00 \text{ Mio. €} = \mathbf{5,03 \text{ Mio. €}}$$

Bei der Betrachtung des Realoptionswerts der multiplen Option fällt auf, dass dieser nicht der Summe der einzelnen Realoptionswerte entspricht.¹⁵⁵

$$\begin{aligned} ROV_{MUO} &\neq ROV_{ERO} + ROV_{EIO} + ROV_{ABO} \\ 10,03 \text{ Mio. €} &\neq 5,86 \text{ Mio. €} + 5,00 \text{ Mio. €} + 3,09 \text{ Mio. €} \\ &10,03 \text{ Mio. €} \neq 13,95 \text{ Mio. €} \end{aligned}$$

Diese Differenz beruht auf den Wechselwirkungszusammenhängen zwischen den einzelnen Realoptionsrechten. Ohne die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge, d.h. bei einfacher Addition der Realoptionswerte, würde der Ausweis der Projektflexibilität um 3,92 Mio. € zu hoch ausfallen. Die Korrekturfunktion der Wechselwirkungsberechnung ist vergleichbar mit der Quantifizierung der Intra- und Interprojektdiversifikationseffekte im Rahmen der Risikobewertung. Bei der Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich abschließend, dass die realoptionsbasierte Investitionsbewertung im Vergleich zur klassischen Investitionsbewertung zu einer verbesserten Entscheidungsgrundlage führt.

3.3.3. Optionspreisverfahren

Das zuvor diskutierte numerische Entscheidungsbaumverfahren bildet den konzeptionellen Ausgangspunkt für das nachfolgend dargestellte analytische Optionspreisverfahren nach Black und Scholes.¹⁵⁶ Der von beiden Wissenschaftlern entwickelte und 1977 mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften ausgezeichnete analytische Ansatz zur Bewertung von europäischen Kauf- und Verkaufsoptionen stellt das wohl bekannteste Optionspreisverfahren dar.¹⁵⁷ Bei einer Konvergenz von Δt

¹⁵⁵ Vgl. Copeland/Koller/Murrin (2002), S. 485.

¹⁵⁶ Vgl. Black/Scholes (1973), S. 637-659.

¹⁵⁷ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 181.

gegen 0 ($\Delta t \rightarrow 0$) und annahmegemäß stetigen Wertentwicklung des Basisinstruments kann das Black/Scholes-Modell als Grenzfall des Entscheidungsbaumverfahrens interpretiert werden.¹⁵⁸ Ausgehend von der Annahme einer Log-Normalverteilung des Basisinstruments wird der Optionswert unter Berücksichtigung des Arbitrage-Prinzips (risikoneutrale Bewertung) ermittelt.¹⁵⁹ Dabei lautet die Bewertungsgleichung einer europäischen Kaufoption ohne die Einbeziehung von Dividendenzahlungen während der Optionslaufzeit wie folgt:¹⁶⁰

$$C = S \cdot N(f_1) - B \cdot e^{-r_f \cdot T} \cdot N(f_2)$$

mit

$$f_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{B}\right) + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot T}{\sigma \cdot \sqrt{T}} \quad \text{und} \quad f_2 = f_1 - \sigma \cdot \sqrt{T} = \frac{\ln\left(\frac{S}{B}\right) + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot T}{\sigma \cdot \sqrt{T}} - \sigma \cdot \sqrt{T}$$

In diesem Kontext entspricht $N(\cdot)$ dem für das Argument (\cdot) ermittelten Wert der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung.¹⁶¹ Basierend auf der Bestimmungsgleichung für eine europäische Kaufoption und unter der Voraussetzung eines äquivalenten Basispreises erfolgt die Bewertung einer europäischen Verkaufsoption über die sog. „Put-Call-Parität“.¹⁶²

$$Put = Call + ZeroBond - Basisinstrument$$

$$P = C + B \cdot e^{-r_f \cdot T} - S$$

$$P = S \cdot N(f_1) - B \cdot e^{-r_f \cdot T} \cdot N(f_2) + B \cdot e^{-r_f \cdot T} - S$$

$$P = S \cdot (N(f_1) - 1) + B \cdot e^{-r_f \cdot T} \cdot (1 - N(f_2))$$

Ausgehend von den Bestimmungsgleichungen einer europäischen Kauf- und Verkaufsoption erfolgt die Analyse der fünf wertbestimmenden Faktoren, von denen die Entwicklung des Optionswerts C (Kaufoption) bzw. P (Verkaufsoption) abhängig ist.¹⁶³

$$C = C(S, B, \sigma, T, r_f)$$

¹⁵⁸ Vgl. Rams (1999), S. 358.

¹⁵⁹ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 181.

¹⁶⁰ Vgl. Rams (1999), S. 358; ebenda, S. 181.

¹⁶¹ Vgl. Hommel/Müller (1999), S. 181.

¹⁶² Vgl. ebenda, S. 181; Steiner/Uhlir (2001), S. 226.

¹⁶³ Vgl. Stegemann (2001), S. 243.

$$P = P(S, B, \sigma, T, r_f)$$

Die Faktoren und deren Einfluss auf das Basisinstrument werden am Beispiel von Aktien (Finanzoptionen) und Investitionsprojekten (Realoptionen) erläutert. Bei Finanzoptionen bezeichnet der gegenwärtige Preis der Aktie den Basiswert S , während bei Realoptionen der Bruttobarwert der erwarteten Einzahlungsüberschüsse aus dem Investitionsprojekt diesen Faktor darstellt.¹⁶⁴ Der Basispreis B einer Aktie als weiterer Einflussfaktor entspricht den Investitionskosten eines Investitionsprojekts.¹⁶⁵ Des Weiteren kann die Standardabweichung σ als Unsicherheit des Aktienpreises bzw. Risiko in Bezug auf den Kapitalwert des Investitionsprojekts interpretiert werden.¹⁶⁶ T steht in diesem Kontext für die Optionslaufzeit, die im Fall von Realoptionen der Zeitspanne entspricht bis die Handlungsmöglichkeit verfällt.¹⁶⁷ Der risikolose Zinssatz r_f findet bei Finanz- und Realoptionen gleichermaßen Anwendung.¹⁶⁸

Im Fall einer Kaufoption nimmt der Optionswert C mit steigendem Basiswert zu, während sich der Wert einer Verkaufsoption P verringert. Im Gegensatz dazu führt ein Anstieg des Basispreises zu einer Verminderung des Optionswerts C bzw. einer Zunahme des Optionswerts P . Des Weiteren steigt mit zunehmender Unsicherheit, ausgedrückt durch eine steigende Volatilität, die Wahrscheinlichkeit, dass die Kauf- bzw. Verkaufsoption im Geld ist. Im Hinblick auf die Optionslaufzeit kann festgestellt werden, dass sich sowohl bei Kauf- als auch bei Verkaufsoptionen das Wertveränderungspotenzial des zugrundeliegenden Basisinstruments bei längerer Laufzeit erhöht, wodurch die Wirkung auf den Optionswert positiv ausfällt. Der Effekt einer positiven Wertentwicklung des Optionswerts C bzw. P aufgrund eines steigenden risikolosen Zinssatzes ist auf den sinkenden Barwert der Ausübungskosten der Option zurückzuführen.¹⁶⁹

¹⁶⁴ Vgl. Hommel/Pritsch (1999b), S. 124.

¹⁶⁵ Vgl. Stegemann (2001), S. 243; ebenda, S. 124.

¹⁶⁶ Vgl. Hommel/Pritsch (1999b), S. 124; Stegemann (2001), S. 243.

¹⁶⁷ Vgl. Hommel/Pritsch (1999b), S. 124.

¹⁶⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Stegemann (2001), S. 243; ebenda, S. 124.

¹⁶⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Stegemann (2001), S. 243.

Die Auswirkungen der Veränderungen der Einflussfaktoren auf den Optionswert einer (realen) Kauf- bzw. Verkaufsoption können anhand der folgenden partiellen Ableitungen nachvollzogen werden:

$$\frac{\partial C}{\partial S} > 0, \frac{\partial C}{\partial B} < 0, \frac{\partial C}{\partial \sigma} > 0, \frac{\partial C}{\partial T} > 0, \frac{\partial C}{\partial r_f} > 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial S} < 0, \frac{\partial P}{\partial B} > 0, \frac{\partial P}{\partial \sigma} > 0, \frac{\partial P}{\partial T} > 0, \frac{\partial P}{\partial r_f} > 0$$

Abschließend werden die wertbestimmenden Faktoren von (Real-)Optionswerten und deren Einfluss auf den (Real-)Optionswert einer Kauf- bzw. Verkaufsoption in Abb. 3-9 zusammenfassend dargestellt.

(Real-) Optionsparameter	Finanzoption	Realoption	Einfluss auf den (Real-)Optionswert einer Kaufoption	Einfluss auf den (Real-)Optionswert einer Verkaufsoption
S	➤ Gegenwärtiger Preis einer Aktie	➤ Bruttobarwert der erwarteten Einzahlungsüberschüsse aus einem Investitionsprojekt	[+]	[-]
B	➤ Basispreis	➤ Investitionskosten eines Investitionsprojekts	[-]	[+]
σ	➤ Unsicherheit des Aktienpreises	➤ Unsicherheit in Bezug auf den Kapitalwert eines Investitionsprojekts	[+]	[+]
T	➤ Optionslaufzeit	➤ Zeitspanne, bis Handlungsmöglichkeit verfällt	[+]	[+]
r _f	➤ Risikoloser Zinssatz	➤ Risikoloser Zinssatz	[+]	[+]

Abb. 3-9: Wertbestimmende Faktoren von (Real-)Optionswerten.

Quelle: In Anlehnung an Hommel/Pritsch (1999b), S. 124.

4. Risikobewertung

Im Rahmen der Risikobewertung werden die Grundlagen und Anwendungspotenziale von sog. „*at Risk*-Kennzahlen“ thematisiert. Bei dieser Betrachtung stehen der Value at Risk (*VaR*), stellvertretend für Risikokennzahlen in Finanzunternehmen, und der Cash Flow at Risk (*CFaR*) sowie der Discounted Risk Value (*DRV*) als Risikokennzahlen in Nichtfinanzunternehmen im Fokus. Die Berechnung und Funktionsweise von *at Risk*-Kennzahlen wird anhand des Varianz-Kovarianz-Ansatzes im Ein-Risikofaktor-Fall und Mehr-Risikofaktoren-Fall schrittweise erläutert. Die Ausführungen zur Risikobewertung bilden die theoretische Grundlage für die spätere Definition der Kapitalgröße des erweiterten, risikoadjustierten Kapitalwerts in Kapitel sechs und deren Berechnung im Zuge des Fallbeispiels aus Kapitel sieben.

4.1. Risikokennzahlen

Die Auswahl einer Risikokennzahl hängt grundsätzlich von der zu bewertenden Risikoart ab. Dabei wird zwischen Finanz-/Marktrisiken und operativen Risiken unterschieden. Die Wahl des Berechnungsverfahrens wird durch die Verteilung der zu berücksichtigenden Risikofaktoren determiniert.

4.1.1. Value at Risk

Der *VaR* wurde in den 1980er Jahren von den amerikanischen Banken JPMorgan Chase & Co. und Bankers Trust zur Messung und Überwachung von Marktpreisrisiken bei Finanzinstrumenten bzw. Vermögenspositionen (Zins-, Währungs-, Rohstoffrisiken, etc.) konzipiert.¹⁷⁰ Beim *VaR* handelt es sich um ein verlustorientiertes Risikomaß, das den sog. „Shortfall- bzw. Downside-Risikomaßen“ zugeordnet

¹⁷⁰ Vgl. Romeike (2003), S. 184; Frommeyer/Merbecks/Stegemann (2004), S. 113; Hoitsch/Winter (2004), S. 239.

wird.¹⁷¹ Charakteristisch für Shortfall-Risikomaße ist die ausschließliche Betrachtung negativer Zielabweichungen.¹⁷² Insofern kann der *VaR* auch als wahrscheinlicher Höchstschaden (maximum probable loss) interpretiert werden.¹⁷³ Die Anwendung des *VaR* konzentriert sich überwiegend auf Finanzunternehmen, da sich diese in den meisten Fällen mit handelbaren Marktpreis- und Kreditrisiken konfrontiert sehen.¹⁷⁴ Diese Handelbarkeit von Risiken und die damit verbundene Existenz von Marktpreisen sind grundlegende Voraussetzungen für die Berechnung des *VaR*. Der *VaR* kann, abhängig vom Verwendungszweck, auf zweierlei Art und Weise interpretiert werden, als relativer *VaR* und als absoluter *VaR*. Im Folgenden wird diese Differenzierung sowohl mathematisch als auch graphisch erläutert.

Der relative *VaR* stellt die Differenz zwischen dem Erwartungswert einer Risikoposition (*RP*) und dem innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums zu einem bestimmten Konfidenzniveau α ermittelten (negativen) Wert einer Risikoposition dar.¹⁷⁵ Unter einer Risikoposition versteht man dabei eine beliebige, mit Risiko behaftete Vermögensposition. Die Wahl des Betrachtungszeitraums für den *VaR* orientiert sich an der Zeitspanne bis zur vollständigen Liquidation der Risikoposition, die bei Finanzinstrumenten meist einen (Handels-)Tag umfasst.¹⁷⁶ Das Konfidenzniveau determiniert die Wahrscheinlichkeit, mit welcher der Wert der Risikoposition außerhalb des α -Quantils der Verteilung der Risikoposition liegt. Die Wahl des Konfidenzniveaus spiegelt dabei die Risikoneigung der Entscheider wider. Beispielsweise lässt ein Konfidenzniveau von $\alpha = 0,01$ auf eine risikoaverse Haltung der Entscheider schließen.

Unter der Annahme, dass die Wertveränderungen der Risikoposition durch eine Gaußsche Normalverteilung approximiert werden können, lässt sich der relative *VaR* über die nachfolgende Verteilungsfunktion $P(\cdot)$ herleiten:¹⁷⁷

¹⁷¹ Vgl. Wolke (2008), S. 27.

¹⁷² Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 239; Gebhardt/Mansch (2005), S. 45.

¹⁷³ Vgl. Cottin/Döhler (2009), S. 117.

¹⁷⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Homburg/Stephan (2004), S. 314.

¹⁷⁵ Vgl. Jorion (2001), S. 22; ebenda, S. 314.

¹⁷⁶ Vgl. Jorion (2001), S. 24; Stephan (2006), S. 176.

¹⁷⁷ Vgl. Mittag/Rinne (1995), S. 69f.; Fröhling (2000), S. 7.

$$P(X \leq x_\alpha) = P(Z \leq z_\alpha) = P\left(Z \leq \frac{x_\alpha - \mu}{\sigma}\right) = \Phi(z_\alpha) = \Phi\left(\frac{x_\alpha - \mu}{\sigma}\right)$$

X : Wert der Risikoposition

Z : Standardisierter Wert der Risikoposition, wobei $X \sim N(\mu; \sigma)$ mit $\mu = 0$ und $\sigma = 1$

μ : Erwartungswert der Risikoposition

σ : Standardabweichung der Risikoposition

α : Konfidenzniveau

Die Normalverteilung wird durch den Erwartungswert und die Standardabweichung eindeutig determiniert.¹⁷⁸ In Abhängigkeit vom Konfidenzniveau kann der Wert für z_α mit Hilfe einer tabellierten Standardnormalverteilung ermittelt werden. In der Literatur wird das α -Quantil (x_α) auch als Untergrenze bzw. Minimalwert der Risikoposition bezeichnet und kann durch den folgenden funktionalen Zusammenhang beschrieben werden:

$$z_\alpha = \frac{x_\alpha - \mu}{\sigma}$$

bzw.

$$x_\alpha = \mu + z_\alpha \cdot \sigma$$

Die daraus abgeleitete Bestimmungsgleichung für den relativen VaR lautet wie folgt:¹⁷⁹

$$VaR_\alpha^{rel} = \mu - x_\alpha$$

bzw.

$$VaR_\alpha^{rel} = |-z_\alpha \cdot \sigma|$$

Im Vergleich zum relativen VaR entspricht der absolute VaR dem Betrag des α -Quantils der Risikoposition und quantifiziert somit den absoluten Verlust bzw. die Nettovermögensminderung:¹⁸⁰

$$VaR_\alpha^{abs} = |x_\alpha|$$

bzw.

¹⁷⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Mittag/Rinne (1995), S. 69f.

¹⁷⁹ Vgl. Fröhling (2000), S. 7.

¹⁸⁰ Vgl. Schröder (1999), S. 384; Homburg/Stephan (2004), S. 314.

$$VaR_{\alpha}^{abs} = |\mu + z_{\alpha} \cdot \sigma|$$

In der nachfolgenden Abbildung wird der Unterschied zwischen dem relativen und absoluten *VaR* graphisch veranschaulicht.

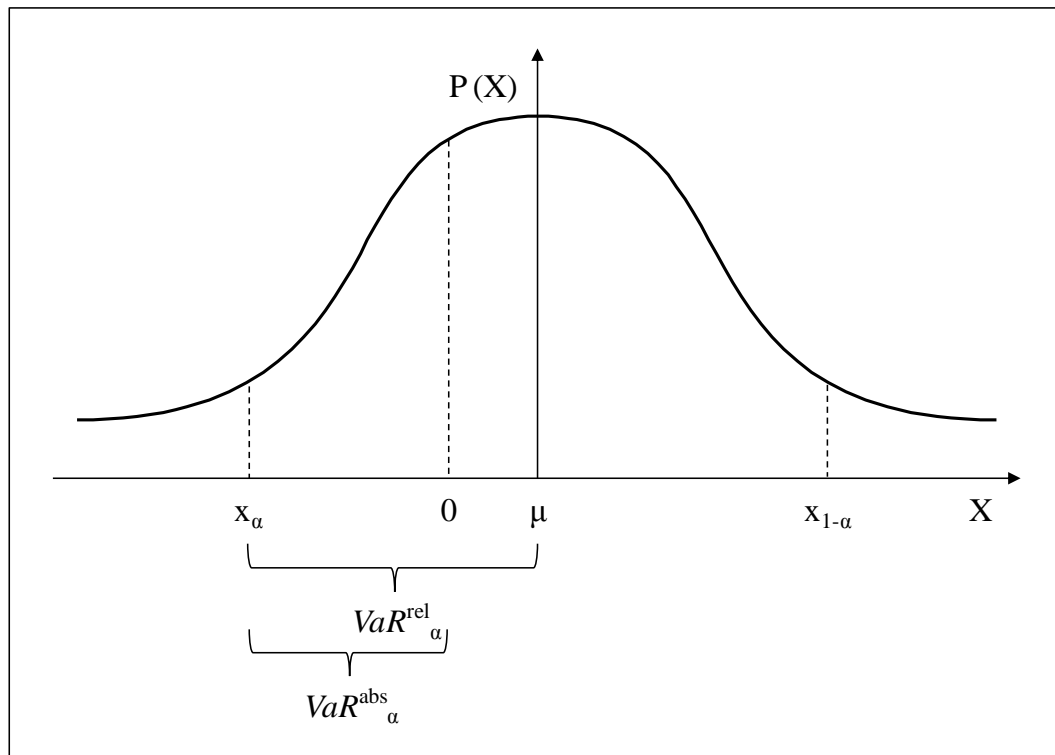


Abb. 4-1: Absoluter und relativer Value at Risk.

Quelle: Homburg/Stephan (2004), S. 314.

Durch die Anwendung des *VaR* wird das Risiko einer Vermögensposition quantifiziert und somit eine Vergleichbarkeit von Vermögenspositionen mit divergierenden Risikograden hergestellt.¹⁸¹ Die Konzeption des *VaR* ermöglicht eine simultane Berücksichtigung mehrerer relevanter Risikofaktoren und die Aggregation mehrerer Risikopositionen zu einer Gesamtrisikoposition.

4.1.2. Cash Flow at Risk

Im Fall von Nichtfinanzunternehmen besteht ein Großteil des Betriebsvermögens in der Regel aus materiellen und immateriellen Vermögensgegenständen, die zur Leistungserstellung eingesetzt werden bzw. als Resultat dieser anzusehen sind.¹⁸²

¹⁸¹ Vgl. dazu und im Folgenden Hoitsch/Winter (2004), S. 239.

¹⁸² Vgl. ebenda, S. 240.

Infolgedessen sehen sich diese Unternehmen zumeist mit betrieblichen Risiken im Rahmen des Leistungserstellungsprozesses konfrontiert. Aufgrund der hohen Spezifität und der damit einhergehenden fehlenden Handelbarkeit der Vermögensgegenstände auf Kapitalmärkten ist eine Marktwertbestimmung nur in Ausnahmefällen möglich.¹⁸³ Diese fehlende Handelbarkeit und Nichtexistenz von Marktpreisen bei Vermögensgegenständen von Nichtfinanzunternehmen hat eine eingeschränkte, zuweilen fehlende kurzfristige Liquidierbarkeit zur Folge.¹⁸⁴ Somit beschränkt sich die Anwendbarkeit des *VaR* bei Nichtfinanzunternehmen im Wesentlichen auf Wertpapier-, Fremdwährungs- und Rohstoffbestände.

Aus diesem Grund wurde auf der Basis des *VaR*-Ansatzes das erfolgsorientierte Konzept des *CFaR* zur Quantifizierung betrieblicher Risiken in Nichtfinanzunternehmen entwickelt.¹⁸⁵ Aufgrund seiner methodischen Ausgestaltung ermöglicht der *CFaR* die Erstellung von Risikoprognosen über einen mittel- bis langfristigen Zeithorizont von drei bis zwölf Monaten, wodurch die Stabilität und Kontinuität der Unternehmensplanung unterstützt wird.¹⁸⁶ Die Risikoberechnung im Rahmen des *CFaR* erfolgt auf der Grundlage geplanter Cash Flows als Ergebnis der operativen Tätigkeit des Unternehmens.¹⁸⁷ Darüber hinaus wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Planung und Bewertung von Investitionen in Nichtfinanzunternehmen überwiegend auf der Basis von Zahlungsgrößen erfolgt. Vor diesem Hintergrund kann der *CFaR* auch als dynamischer *VaR* bezeichnet werden, obgleich eine mathematische Überleitung vom *VaR* zum *CFaR* wegen der unterschiedlichen Annahmen der beiden Konzepte nicht möglich ist.¹⁸⁸

Im Gegensatz zum *VaR* besteht die Risikoposition beim *CFaR* aus den mit Risiko behafteten Cash Flows einer beliebigen Entscheidungseinheit. In Anlehnung an die Definition des absoluten *VaR* bezeichnet der absolute *CFaR* den absoluten Verlust einer Entscheidungseinheit, der innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums

¹⁸³ Vgl. Pfennig (2000), S. 1299.

¹⁸⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Homburg/Stephan (2004), S. 315.

¹⁸⁵ Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 239.

¹⁸⁶ Vgl. Hager (2004), S. 87 und S. 96; Homburg/Stephan (2004), S. 315.

¹⁸⁷ Vgl. Pfennig (2000), S. 1300 und S. 1306; Hager (2004), S. 95.

¹⁸⁸ Vgl. Hager (2004), S. 88.

bei einem vorgegebenen Konfidenzniveau nicht überschritten wird.¹⁸⁹ Formal lässt sich diese Beziehung wie folgt darstellen:

$$CFaR_{\alpha}^{abs} = |x_{\alpha}|$$

Es gilt:

$$P(X < CFaR_{\alpha}^{abs}) = \alpha$$

Im Unterschied dazu stellt der relative *CFaR* die Differenz zwischen dem Erwartungswert und dem α -Quantil der Risikoposition dar. In diesem Fall lautet die Bestimmungsgleichung:

$$CFaR_{\alpha}^{rel} = \mu - x_{\alpha}$$

Hierbei gilt:

$$P(X < CFaR_{\alpha}^{rel} - \mu) = \alpha$$

Bei der Entscheidungseinheit kann es sich sowohl um das Gesamtunternehmen als auch um einzelne Geschäftsbereiche oder Investitionsprojekte handeln.¹⁹⁰

Um die Eignung, Anwendbarkeit und Aussagekraft des *CFaR* für die Risikobewertung in Nichtfinanzunternehmen adäquat beurteilen zu können, müssen zunächst die Anforderungen an ein Risikomaß definiert werden. Im zweiten Schritt ist dann zu prüfen, ob der *CFaR* diese Anforderungen erfüllt. Gemäß Artzner et al. muss ein kohärentes Risikomaß die folgenden Axiome in vollem Umfang erfüllen:¹⁹¹

- (1) Translationsinvarianz: Darunter versteht man die Minderung des Risikos durch das Hinzufügen einer zusätzlichen sicheren Anlage, d.h. die Risikomitigation erfolgt durch die Erhöhung des Anteils sicherer Zahlungsströme.
- (2) Subadditivität: Das aggregierte Risiko zweier Risikopositionen ist niemals größer als die Summe der Einzelrisiken der beiden Positionen (Diversifikationseffekt).

¹⁸⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Hoitsch/Winter (2004), S. 240; Gillenkirch/Kropp (2004), S. 92f.

¹⁹⁰ Vgl. dazu und im Folgenden Hoitsch/Winter (2004), S. 240 und S. 243.

¹⁹¹ Vgl. Artzner et al. (1998), S. 6f.; Artzner et al. (1999), S. 208-210; ebenda, S. 244; Mitschele (2009), S. 24f.

- (3) Positive Homogenität: Der Zusammenhang zwischen der Skalierung des Umfangs der unsicheren Anlagen und der Veränderung des Risikos ist proportional.
- (4) Monotonie: Mit zunehmendem Risiko steigt auch die durch das Risikomaß zugeordnete Risikowertzahl.

Der *CFaR* erfüllt alle genannten Anforderungen und gilt somit als kohärentes Risikomaß, wobei anzumerken ist, dass die Subadditivitätseigenschaft nur unter der Maßgabe der Gültigkeit der Normalverteilungsannahme gegeben ist.¹⁹²

4.1.3. Discounted Risk Value

Der *DRV* kann insofern als Weiterentwicklung des *CFaR* angesehen werden, als dass die Erkenntnisse des *CFaR* und des Kapitalwertverfahrens in einer Risikokennzahl zusammengeführt werden. Der Anwendungsschwerpunkt liegt ebenso wie beim *CFaR* auf der Risikobewertung in Nichtfinanzunternehmen. In Abhängigkeit von der Anzahl der betrachteten Geschäftsbereiche oder Investitionsprojekte ergeben sich Unterschiede bei der Bestimmung des *DRV*. Im Folgenden wird der relative *DRV* zunächst für einen Geschäftsbereich *h* ermittelt; im Anschluss daran erfolgt die Erweiterung der Berechnung auf mehrere Geschäftsbereiche.

Der relative *DRV* eines Geschäftsbereichs zum Zeitpunkt t_0 wird auf der Grundlage der relativen, zeitperiodenspezifischen *CFaR* des Geschäftsbereichs in einem zweistufigen Verfahren ermittelt.¹⁹³ Im ersten Schritt werden die diskontierten, relativen, zeitperiodenspezifischen *CFaR* des Geschäftsbereichs berechnet. Die Abzinsung auf den Zeitpunkt t_0 erfolgt unter Verwendung der gewichteten, durchschnittlichen Kapitalkosten (Weighted Average Cost of Capital, *WACC*). Im Resultat ergibt sich die zum Zeitpunkt t_0 bewertete relative Cash Flow-Unsicherheit des Geschäftsbereichs für die Zeitperiode t .

$$DCFaR_{\alpha,t,h}^{rel} = \frac{CFaR_{\alpha,t,h}^{rel}}{(1 + WACC)^t} = CFaR_{\alpha,t,h}^{rel} \cdot (1 + WACC)^{-t}$$

¹⁹² Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 244.

¹⁹³ Vgl. dazu und im Folgenden Homburg/Stephan (2004), S. 318f.

Der zweite Schritt sieht die Aggregation der diskontierten, relativen, zeitperiodenspezifischen *CFaR* des Geschäftsbereichs vor. Unter der Annahme der Gültigkeit der Normalverteilung wird der relative *DRV* des Geschäftsbereichs *h* zum Zeitpunkt t_0 über folgende Gleichung bestimmt:

$$DRV_{\alpha,h}^{rel} = \sqrt{\overrightarrow{DCFaR}_{\alpha,t,h}^{rel} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{DCFaR}_{\alpha,t,h}^{rel \rightarrow trans}}$$

Dabei bezeichnet $\overrightarrow{DCFaR}_{\alpha,t,h}^{rel}$ den Vektor der diskontierten, relativen, zeitperiodenspezifischen *CFaR* des Geschäftsbereichs *h* zum Zeitpunkt t_0 und $\overrightarrow{DCFaR}_{\alpha,t,h}^{rel \rightarrow trans}$ den gleichen Vektor in transponierter Form. Ω steht dabei für die Korrelationskoeffizientenmatrix der diskontierten, relativen, zeitperiodenspezifischen *CFaR* des Geschäftsbereichs *h*. Durch diese Aggregation werden die sog. „intertemporalen Intragewerksbereichsdiversifikationseffekte“, d.h. die zeitlichen Diversifikationseffekte zwischen den zeitperiodenspezifischen Cash Flows eines Geschäftsbereichs, berücksichtigt. Somit wird ein überhöhter Ausweis des geschäftsbereichsinhärenten Risikos vermieden. Die Berechnung des relativen *DRV* des Geschäftsbereichs eins zum Zeitpunkt t_0 soll anhand des nachfolgenden Beispiels veranschaulicht werden. Hierbei betragen die relativen *CFaR* der Zeitperioden t_1 und t_2 jeweils 100,00 Mio. € und 200,00 Mio. €. Daraus ergeben sich bei *WACC* von 5,00% und einem Konfidenzniveau von ebenfalls 5,00% für die diskontierten, relativen, zeitperiodenspezifischen *CFaR* zum Zeitpunkt t_0 folgende Werte:

$$DCFaR_{0,05,1,1}^{rel} = 100,00 \text{ Mio. €} \cdot (1 + 0,05)^{-1} = \mathbf{95,24 \text{ Mio. €}}$$

$$DCFaR_{0,05,2,1}^{rel} = 200,00 \text{ Mio. €} \cdot (1 + 0,05)^{-2} = \mathbf{181,41 \text{ Mio. €}}$$

Darüber hinaus sind die Cash Flows beider Zeitperioden normalverteilt und stochastisch unabhängig ($\delta = 0$), d.h. die Realisierung der Cash Flows in der Zeitperiode t_1 hat annahmegemäß keinen Einfluss auf die Realisierung der Cash Flows in der Zeitperiode t_2 . Unter Beachtung der getroffenen Annahmen und Verwendung der definierten Parameter ergibt sich für den relativen *DRV* des Geschäftsbereichs eins zum Zeitpunkt t_0 ein Wert von 204,89 Mio. €.

$$\begin{aligned}
DRV_{0,05,1}^{rel} &= \sqrt{(95,24 \text{ Mio. €} \quad 181,41 \text{ Mio. €}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 95,24 \text{ Mio. €} \\ 181,41 \text{ Mio. €} \end{pmatrix}} = \\
&= \mathbf{204,89 \text{ Mio. €}}
\end{aligned}$$

Im Resultat kann der $DRV_{0,05,1}^{rel}$ als bewertete Unsicherheit in Bezug auf die zukünftigen Cash Flows des Geschäftsbereichs eins zum Zeitpunkt t_0 interpretiert werden.

Erweitert man die bisherige Analyse dahingehend, dass anstelle eines Geschäftsbereichs das Gesamtunternehmen (GU) mit mehreren Geschäftsbereichen betrachtet wird, erfolgt die Berechnung des relativen DRV des Gesamtunternehmens zum Zeitpunkt t_0 auf der Basis des nachfolgenden Zusammenhangs:

$$DRV_{\alpha, GU}^{rel} = \sqrt{\overrightarrow{DRV_{\alpha, h}^{rel}} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{DRV_{\alpha, h}^{rel}}^{trans}}$$

Während $\overrightarrow{DRV_{\alpha, h}^{rel}}$ den Vektor der relativen DRV aller Geschäftsbereiche zum Zeitpunkt t_0 bezeichnet und $\overrightarrow{DRV_{\alpha, h}^{rel}}^{trans}$ den gleichen Vektor in transponierter Form, stellt Ω in diesem Zusammenhang die Korrelationskoeffizientenmatrix der relativen DRV aller Geschäftsbereiche zum Zeitpunkt t_0 dar. Infolgedessen werden neben den intertemporalen Intrageschäftsbereichsdiversifikationseffekten auch die sog. „Intergeschäftsbereichsdiversifikationseffekte“ erfasst. Diese tragen dem Umstand Rechnung, dass die Entwicklung der Geschäftsbereiche eines Unternehmens korreliert ist. In der Regel ist diese Entwicklung dadurch gekennzeichnet, dass sie gleichgerichtet verläuft, da sich die Geschäftsbereiche im Zeitablauf tendenziell ähnlich gut oder schlecht entwickeln. Diese Tatsache kann auf einen gemeinsamen Einflussfaktor (z.B. Konjunktorentwicklung) und/oder komplementäre Beziehungen zwischen den Geschäftsbereichen (z.B. Wissenstransfer) zurückzuführen sein.

4.2. Verfahren der Risikobewertung

In diesem Abschnitt werden zunächst die unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung von *at Risk*-Kennzahlen kategorisiert. Darauf aufbauend wird der Varianz-Kovarianz-Ansatz und dessen Einsatz zur Berechnung von *at Risk*-Kennzahlen eingehend erläutert. Unabhängig von der Auswahl des Bestimmungsverfahrens lässt

sich der Prozess zur Berechnung von *at Risk*-Kennzahlen in drei Stufen unterteilen:¹⁹⁴

- (1) Auswahl des Bestimmungsverfahrens unter Berücksichtigung der relevanten Risikofaktoren und deren Verknüpfungen mit der Risikoposition
- (2) Bestimmung der Verteilungen der Risikoposition und Risikofaktoren
- (3) Bestimmung der *at Risk*-Kennzahl auf der Grundlage des α -Quantils der Verteilung

Grundsätzlich können bei der Bestimmung von *at Risk*-Kennzahlen zwei Verfahrenstypen unterschieden werden, analytische und simulationsbasierte.¹⁹⁵ Analytische Verfahren, zu denen der Varianz-Kovarianz-Ansatz gezählt wird, zeichnen sich dadurch aus, dass den Risikofaktoren die Normalverteilungsannahme zugrunde liegt.¹⁹⁶ Die statistischen Momente der Verteilung der Risikofaktoren werden dabei auf der Grundlage historischer Schwankungen ermittelt. Im Gegensatz dazu werden im Rahmen von simulationsbasierten Verfahren, wie der Monte-Carlo-Simulation, die Risikofaktoren basierend auf einer Verteilungsannahme direkt simuliert.¹⁹⁷ Die Monte-Carlo-Simulation erweist sich insbesondere bei der Berücksichtigung einer Vielzahl von Risikofaktoren als sinnvoll.¹⁹⁸

Beim Varianz-Kovarianz-Ansatz - auch bekannt als Delta-Normal-Ansatz - handelt es sich um ein analytisches Verfahren, zu dessen Anwendbarkeit es der Gültigkeit von drei Annahmen bedarf.¹⁹⁹ Zunächst müssen die Risikofaktoren normalverteilt sein. Unter der Prämisse, dass sich Marktpreisrisiken (Aktienkurse, Rohstoffpreise, etc.) zumindest approximativ wie normalverteilte Zufallsvariablen verhalten, gilt die Normalverteilungsannahme als gerechtfertigt. Des Weiteren wird die Entwicklung des Wertpapierportefeuillewerts bzw. der Cash Flows als Lineartransformation der einzelnen Risikofaktoren angesehen. Im Rahmen des Varianz-Kovarianz-Ansatzes wird somit unterstellt, dass die Risikopositionen linear auf Veränderungen

¹⁹⁴ Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 241.

¹⁹⁵ Vgl. Romeike (2003), S. 183-198.

¹⁹⁶ Vgl. dazu und im Folgenden Angermüller/Eichhorn/Ramke (2006), S. 150.

¹⁹⁷ Vgl. ebenda, S. 150; Romeike (2003), S. 183-198; Gleißner (2004), S. 354-356.

¹⁹⁸ Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 241.

¹⁹⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Stephan (2006), S. 182.

der Risikofaktoren reagieren.²⁰⁰ Die Sensitivität der Risikopositionen in Bezug auf die Risikofaktoren wird durch den sog. „Delta- bzw. Sensitivitätsfaktor“ abgebildet.²⁰¹ Der Varianz-Kovarianz-Ansatz eignet sich insbesondere zur Risikobewertung von symmetrischen Finanzinstrumenten (Aktien),²⁰² da dort die Sensitivitätsfaktoren bei vielen Positionen gleich eins sind.²⁰³ Abweichend davon ist die Linearität zwischen Veränderungen der Risikopositionen und Veränderungen der Risikofaktoren im Fall von Optionen nicht gegeben. Aus der Normalverteilungsannahme der Risikofaktoren und der dargestellten Linearitätseigenschaft folgt, dass die Risikopositionen ebenfalls normalverteilt sind.²⁰⁴ Die Tatsache, dass die Risikoposition der Verteilung der Risikofaktoren folgt, bezeichnet man als Reproduktionseigenschaft der Normalverteilung. Als dritte Voraussetzung, auf welcher der Varianz-Kovarianz-Ansatz basiert, gilt die Verwendung historischer Veränderungen der Risikofaktoren zur Ableitung statistischer Momente der Verteilung der Risikofaktoren.²⁰⁵ Die Schätzung des Erwartungswerts und der Varianz bzw. Standardabweichung der einzelnen Risikofaktoren sowie der Korrelationen zwischen den Risikofaktoren erfolgt auf der Grundlage historischer (Markt-)Daten (induktiver Ansatz).

4.2.1. Varianz-Kovarianz-Ansatz im Ein-Risikofaktor-Fall

Zur Veranschaulichung werden nachfolgend die *at Risk*-Kennzahlen mittels des Varianz-Kovarianz-Ansatzes zunächst für den Ein-Risikofaktor-Fall,²⁰⁶ d.h. für eine Risikoposition und einen Risikofaktor, am Beispiel der RWE AG Stammaktien (Wertpapierkennnummer: RWE AG St.), erläutert.²⁰⁷ Der Ausgangspunkt ist ein deutsches Finanzunternehmen, das eine Mio. RWE AG Stammaktien (Risikoposi-

²⁰⁰ Vgl. Hager (o. J.), S. 4.

²⁰¹ Vgl. Stephan (2006), S. 182.

²⁰² Vgl. Hager (o. J.), S. 4.

²⁰³ Vgl. dazu und im Folgenden Stephan (2006), S. 182.

²⁰⁴ Vgl. Hoitsch/Winter (2004), S. 242; ebenda, S. 182.

²⁰⁵ Vgl. dazu und im Folgenden Stephan (2006), S. 182.

²⁰⁶ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „*VaR* Wertpapier“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

²⁰⁷ Vgl. dazu und im Folgenden Frommeyer/Merbecks/Stegemann (2004), S. 114f.; Stephan (2006), S. 183.

tion) hält. Im ersten Schritt wird der den Marktwert der Risikoposition beeinflussende Risikofaktor v ermittelt. In diesem Fall stellt der Aktienkurs der RWE AG Stammaktien den zu berücksichtigenden Risikofaktor dar. Auf der Grundlage der Aktienkursentwicklung im Zeitraum von 01.10.2005 bis 01.10.2009 (siehe Abb. 4-2) werden im zweiten Schritt der Erwartungswert und die Varianz bzw. Standardabweichung der Aktienkursveränderung auf Tagesbasis²⁰⁸ bestimmt.



Abb. 4-2: Aktienkursentwicklung der Stammaktien der RWE AG.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die prozentualen Aktienkursveränderungen auf Tagesbasis (Aktienrenditen) über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg werden durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bestmöglich approximiert. Im vorliegenden Fall sind die Aktienrenditen annähernd normalverteilt (vgl. Abb. 4-3).

²⁰⁸ Zur Berechnung wurden die täglichen Schlusskurse im Xetra-Handel der Deutschen Börse herangezogen.

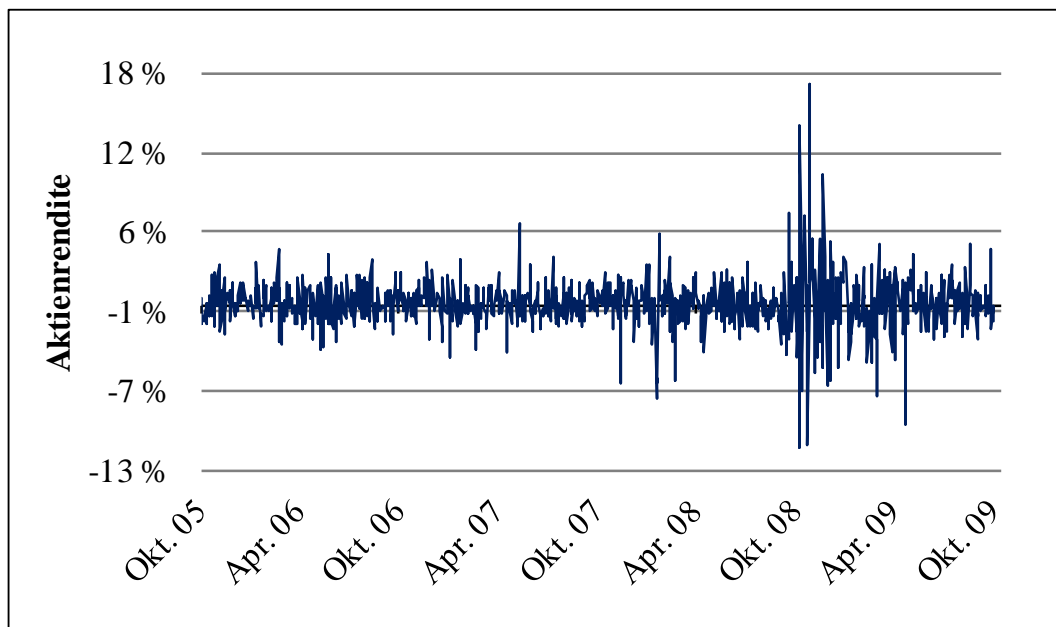


Abb. 4-3: Aktienrenditen der Stammaktien der RWE AG.

Quelle: Eigene Darstellung.

Für den Erwartungswert der Aktienrenditen ergibt sich dabei ein Wert von 0,03% bei einer Standardabweichung von 1,87%. Alle einbezogenen Beobachtungen wurden dabei gleichgewichtet. Diese Gleichgewichtung der Beobachtungen bringt die nachrangige Bedeutung des Zeitpunkts einer jeden Beobachtung zum Ausdruck. Davon abweichend besteht die Möglichkeit einer beobachtungszeitpunktabhängigen Gewichtung. Dadurch können beispielsweise aktuellere Beobachtungen stärker gewichtet werden als länger Zurückliegende.

Im dritten Schritt ist das Risikovolumen der Risikoposition (RVO) in Bezug auf den Risikofaktor v zu bestimmen. Dazu wird zunächst der Wert der Risikoposition ermittelt, der durch Veränderungen des Risikofaktors v beeinflusst wird. Im Fall der RWE AG Stammaktien beträgt der Anteil der Risikoposition, der durch Veränderungen des Aktienkurses beeinflusst wird, 100,00%. Somit entspricht der Risikowert (RW) dem Marktwert der Aktien.

$$RW_v = \text{Marktwert der Aktien}$$

Im Anschluss an die Ermittlung des Risikowerts wird der Sensitivitätsfaktor Δ bestimmt, welcher die prozentuale Veränderung der Risikoposition in Bezug auf den

Risikofaktor angibt. Aufgrund der Tatsache, dass jede positive (negative) Veränderung des Aktienkurses den Marktwert der RWE AG Stammaktien in gleichem Umfang erhöht (vermindert), besitzt der Sensitivitätsfaktor einen Wert von eins.²⁰⁹ Das Risikovolumen ergibt sich durch die Multiplikation des Risikowerts mit dem Sensitivitätsfaktor.²¹⁰

$$RVO_v = RW_v \cdot \Delta_v$$

Das Risikovolumen beschreibt das gesamte im Risiko stehende Volumen der Risikoposition in Bezug auf den Risikofaktor. Bei einem Sensitivitätsfaktor von eins, wie im betrachteten Fall, entspricht das Risikovolumen dem Risikowert.

$$RVO_v = RW_v$$

Im vierten Schritt wird durch die Festlegung des Konfidenzniveaus das α -Quantil der Standardnormalverteilung (z_α) definiert. Im vorliegenden Beispiel wurde ein Konfidenzniveau von $\alpha = 0,05$ gewählt. Damit ergibt sich für das 0,05-Quantil der Standardnormalverteilung ein Wert von -1,645. Im letzten Schritt werden die *at Risk*-Kennzahlen in Anlehnung an die in Kapitel 4.1.1 genannten Formeln folgendermaßen berechnet:

$$\begin{aligned} VaR_{\alpha,v}^{rel} &= RVO_v \cdot |-z_\alpha \cdot \sigma_v| \\ VaR_{\alpha,v}^{abs} &= RVO_v \cdot |\mu_v + z_\alpha \cdot \sigma_v| \end{aligned}$$

Im Fall der eine Mio. gehaltenen RWE AG Stammaktien ergibt sich für den relativen *VaR* am 01.10.2009 bei einem Schlusskurs von 62,65€ ein Wert von 1,92 Mio. €.

$$\begin{aligned} VaR_{\alpha,v}^{rel} &= 62,65\text{€} \cdot 1.000.000 \cdot |1,645 \cdot 1,87\%| = \\ &= 62,65 \text{ Mio. €} \cdot 3,07\% = \mathbf{1,92 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

Analog zum relativen *VaR* berechnet sich der Wert für den absoluten *VaR* am 01.10.2009 wie folgt:

$$VaR_{\alpha,v}^{abs} = 62,65\text{€} \cdot 1.000.000 \cdot |0,03\% + (-1,645) \cdot 1,87\%| =$$

²⁰⁹ Vgl. Hager (o. J.), S. 4.

²¹⁰ Vgl. dazu und im Folgenden Frommeyer/Merbecks/Stegemann (2004), S. 114f.; Stephan (2006), S. 183.

$$= 62,65 \text{ Mio. €} \cdot 3,04\% = 1,91 \text{ Mio. €}$$

Der absolute *VaR* kann in diesem Fall als täglicher, maximaler Wertverlust interpretiert werden, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,00% nicht überschritten wird. Bezogen auf den Aktienkurs der RWE AG Stammaktien bedeutet dies, dass der für den 02.10.2009 errechnete Minimalwert des Aktienkurses von 60,74€ nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 5,00% unterschritten wird. Dieser Zusammenhang wird in Abb. 4-4 anhand einer Überleitungsrechnung veranschaulicht.

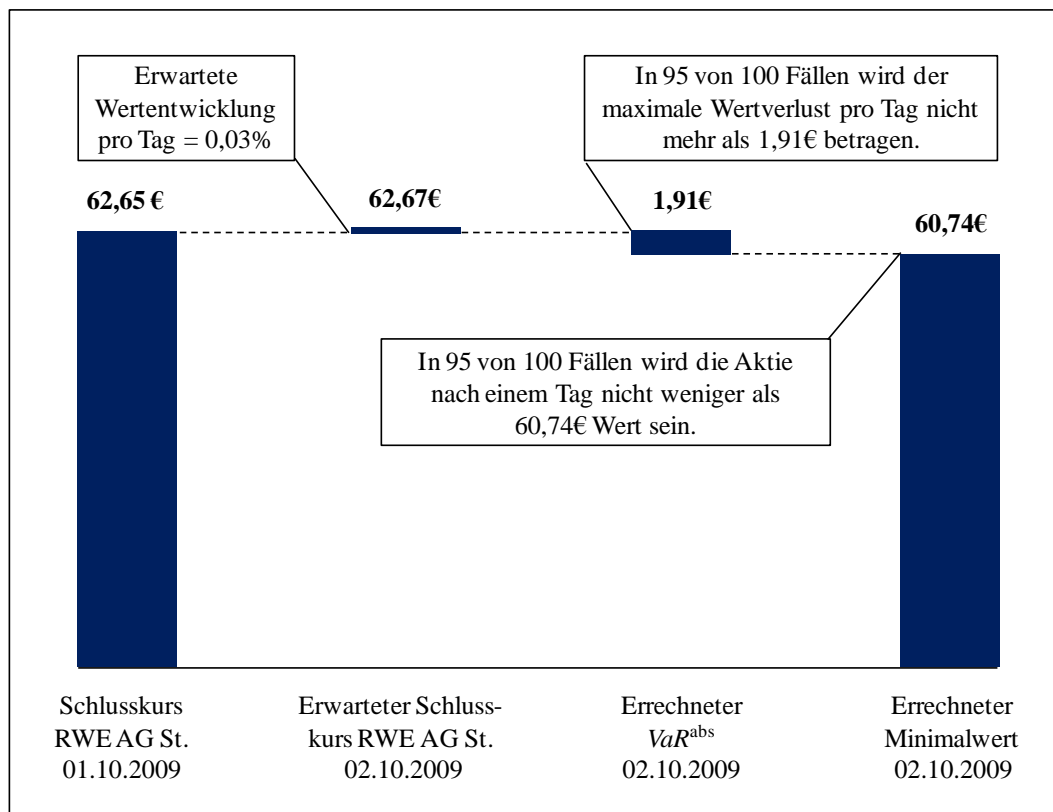


Abb. 4-4: Überleitungsrechnung zum absoluten Value at Risk.

Quelle: In Anlehnung an Frommeyer/Merbecks/Stegemann (2004), S. 115.

Der tatsächliche Schlusskurs der RWE AG Stammaktien am 02.10.2009 betrug 62,70€ und lag damit erwartungsgemäß über dem berechneten Minimalwert der Risikoposition.

4.2.2. Varianz-Kovarianz-Ansatz im Mehr-Risikofaktoren-Fall

Im Folgenden wird die bisherige Ein-Risikofaktor-Betrachtung um einen Risikofaktor erweitert, d.h. der Wert der Risikoposition ist abhängig von zwei statt wie

bisher von einem Risikofaktor. Die Ermittlung des Gesamtrisikos der Risikoposition mittels des Varianz-Kovarianz-Ansatzes erfolgt in diesem Mehr-Risikofaktoren-Fall²¹¹ nach dem zuvor vorgestellten Berechnungsschema mit dem Unterschied, dass Risikodiversifikationseffekte mitberücksichtigt werden. Weisen die betrachteten Risikofaktoren eine Korrelation kleiner eins auf, ist eine solche Diversifikationswirkung in Bezug auf das Gesamtrisiko zu beobachten.²¹² Die Berechnung des Gesamtrisikos im Fall einer Risikoposition und zweier Risikofaktoren mittels des Varianz-Kovarianz-Ansatzes unter Berücksichtigung von Risikodiversifikationseffekten wird anhand des nachfolgenden Beispiels veranschaulicht.

Ein deutscher Automobilhersteller hält eine Menge von 10.000 Tonnen Hüttenaluminium (Primary Aluminium) auf Lager. Der Marktwert dieser Aluminiumvorräte stellt die Risikoposition dar. In diesem Fall sind sowohl der Rohstoffpreis für Hüttenaluminium als auch der Wechselkurs €/€ als Risikofaktoren zu berücksichtigen. Die Notierung von Hüttenaluminium erfolgt zum einen an der London Metal Exchange (*LME*) in US-Dollar je Tonne und zum anderen an der New York Mercantile Exchange (*NYMEX*) in US-Cent je amerikanisches Pfund. Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf historischen Beobachtungen im Zeitraum von 01.04.2009 bis 30.09.2009.²¹³ Abb. 4-5 und 4-6 zeigen die Preisentwicklung und die prozentualen Preisveränderungen auf Tagesbasis (Preisrenditen) von Hüttenaluminium gemäß den Schlusskursen an der *LME* im Betrachtungszeitraum.

²¹¹ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „*VaR* Hüttenaluminium“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

²¹² Vgl. dazu und im Folgenden Hager (o. J.), S. 1-3.

²¹³ Zur Berechnung wurden die täglichen Schlusskurse an der *LME* herangezogen (http://www.lme.co.uk/dataprices_historical.asp).

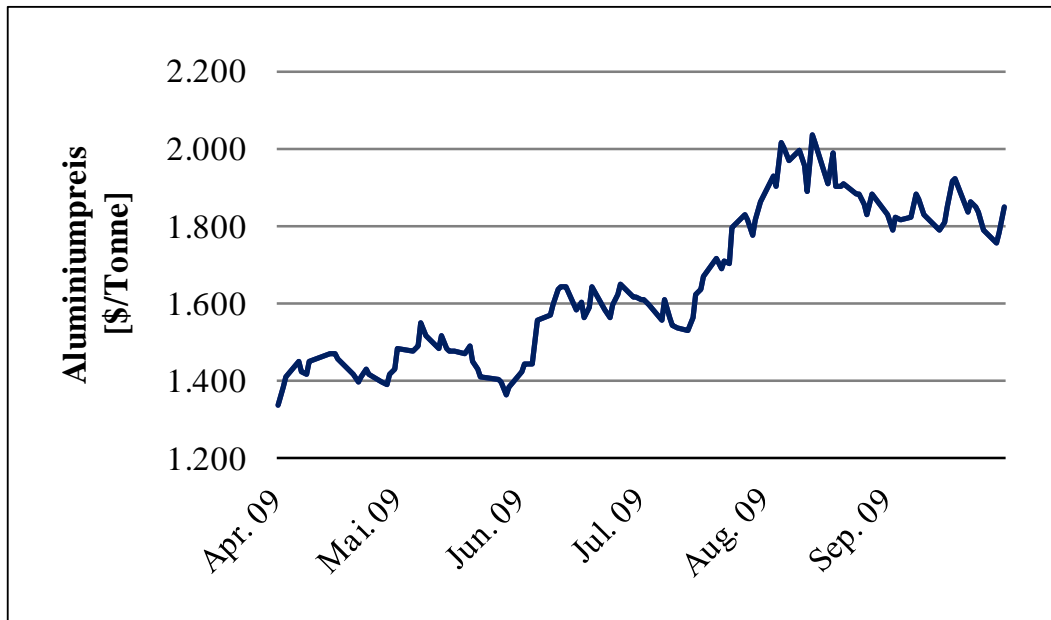


Abb. 4-5: Preisentwicklung von Hüttenaluminium.

Quelle: Eigene Darstellung.

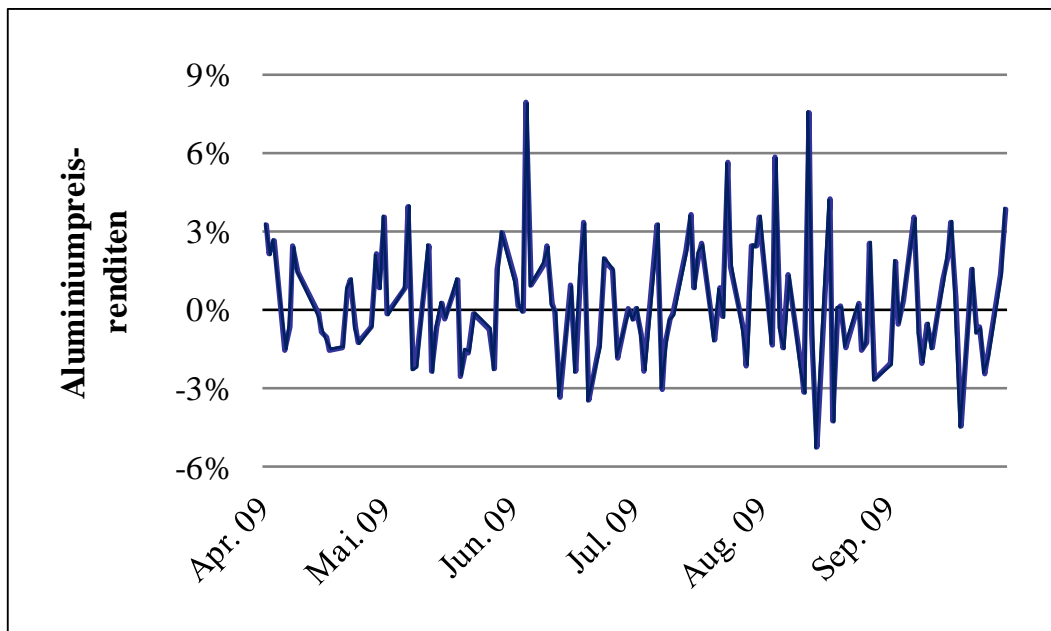


Abb. 4-6: Preisrenditen von Hüttenaluminium.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Preisrenditen von Hüttenaluminium weisen dabei einen Erwartungswert von 0,29% bei einer Standardabweichung von 2,32% auf.

Die korrespondierende Wechselkursentwicklung €/€ und prozentualen Wechselkursveränderungen auf Tagesbasis (Wechselkursrenditen) werden anhand der Abb. 4-7 und Abb. 4-8 veranschaulicht.

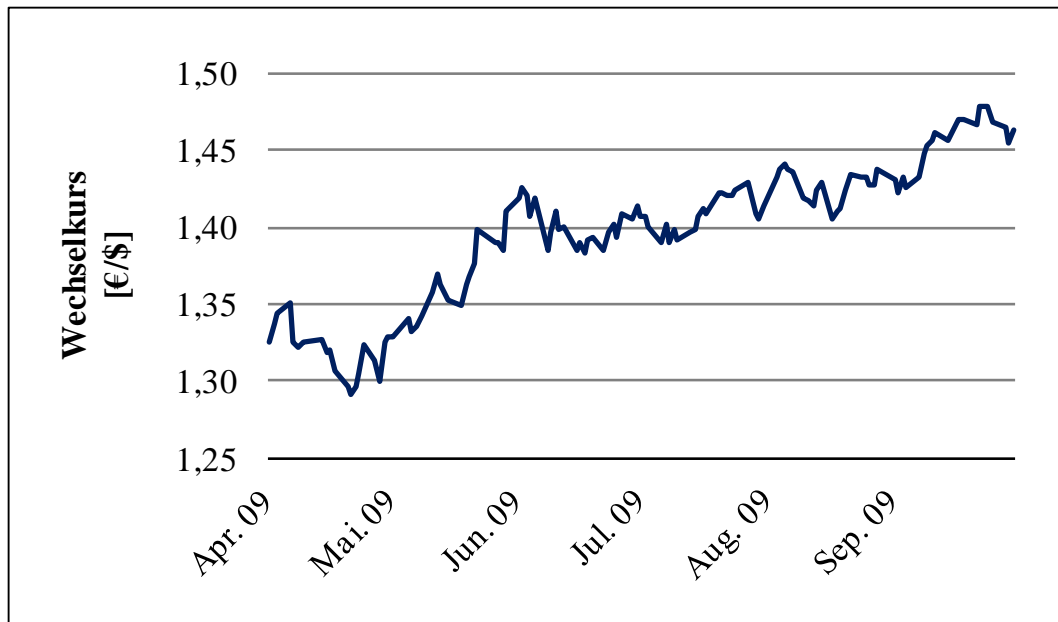


Abb. 4-7: Wechselkursentwicklung €/€.

Quelle: Eigene Darstellung.

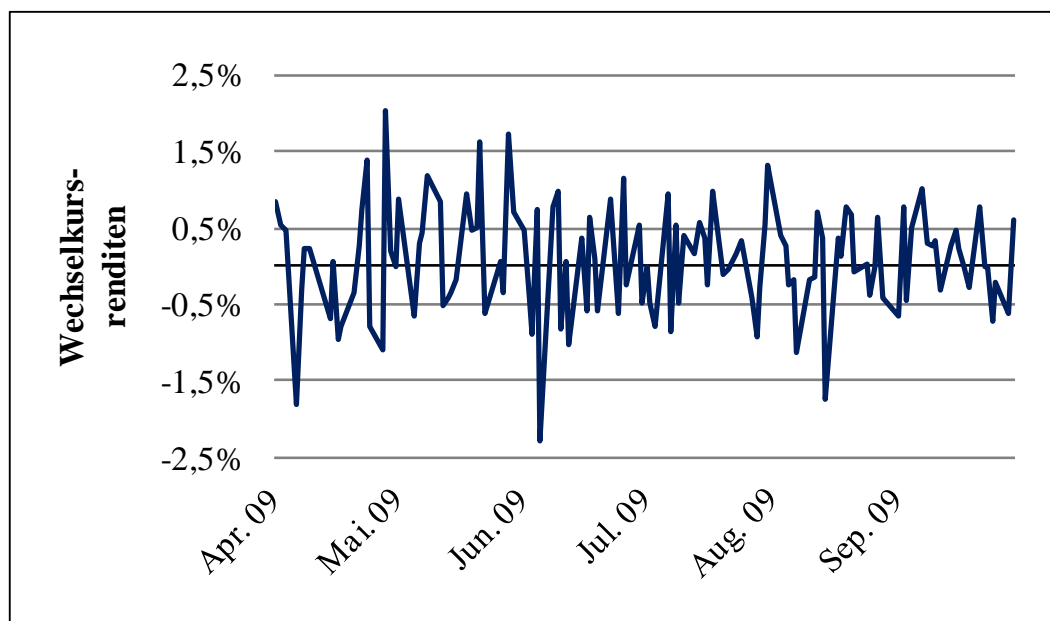


Abb. 4-8: Wechselkursrenditen €/€.

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Wechselkursrenditen €/\\$ ergeben sich im gleichen Beobachtungszeitraum ein Erwartungswert von 0,08% und eine Standardabweichung von 0,71%. Alle einbezogenen historischen Beobachtungen der beiden Risikofaktoren wurden dabei gleichgewichtet.

Analog zum vorangegangenen Beispiel beträgt der Anteil der Risikoposition, der durch Veränderungen des Aluminiumpreises (Risikofaktor v) bzw. Wechselkurses €/\\$ (Risikofaktor w) beeinflusst wird, jeweils 100,00%. Somit entsprechen die Risikowerte in Bezug auf die beiden Risikofaktoren jeweils dem Marktwert der Aluminiumvorräte.

$$RW_v = \text{Marktwert der Aluminiumvorräte}$$

$$RW_w = \text{Marktwert der Aluminiumvorräte}$$

Jede positive (negative) Veränderung des Aluminiumpreises bzw. Wechselkurses €/\\$ erhöht (vermindert) den Marktwert der Aluminiumvorräte in gleichem Umfang. Infolgedessen besitzen beide Sensitivitätsfaktoren (Δ_v und Δ_w) einen Wert von eins. Aufgrund dieser Sensitivität der Risikoposition in Bezug auf beide Risikofaktoren stimmen die Risikovolumina RVO_v und RVO_w mit dem korrespondierenden Risikowert RW_v bzw. RW_w überein.

$$RVO_v = RW_v$$

$$RVO_w = RW_w$$

Bei einem Konfidenzniveau von $\alpha = 0,05$ ergibt sich für das 0,05-Quantil der Standardnormalverteilung ein Wert von -1,645. Unter dieser Annahme und basierend auf den theoretischen Zusammenhängen des relativen und absoluten VaR

$$VaR_{\alpha}^{rel} = RVO \cdot |-z_{\alpha} \cdot \sigma|$$

$$VaR_{\alpha}^{abs} = RVO \cdot |\mu + z_{\alpha} \cdot \sigma|$$

lassen sich die relativen und absoluten VaR in Bezug auf den Risikofaktor v und den Risikofaktor w am 30.09.2009 bei einem Schlusskurs von 1.852,00 \$/Tonne wie folgt berechnen:

- Relativer VaR [\$] - Risikofaktor v

$$\begin{aligned} VaR_{\alpha,v}^{rel} &= 1.852,00 \text{ \$/Tonne} \cdot 10.000 \text{ Tonnen} \cdot |1,645 \cdot 2,32\%| = \\ &= 18,52 \text{ Mio. \$} \cdot 3,82\% = \mathbf{0,71 \text{ Mio. \$}} \end{aligned}$$

- Relativer VaR [\$] - Risikofaktor w

$$VaR_{\alpha,w}^{rel} = 1.852,00 \text{ \$/Tonne} \cdot 10.000 \text{ Tonnen} \cdot |1,645 \cdot 0,71\%| = \\ = 18,52 \text{ Mio. \$} \cdot 1,17\% = \mathbf{0,22 \text{ Mio. \$}}$$

- Absoluter VaR [\$] - Risikofaktor v

$$VaR_{\alpha,v}^{abs} = 1.852,00 \frac{\text{\$}}{\text{Tonne}} \cdot 10.000 \text{ Tonnen} \cdot |0,29\% + (-1,645) \cdot 2,32\%| = \\ = 18,52 \text{ Mio. \$} \cdot 3,53\% = \mathbf{0,65 \text{ Mio. \$}}$$

- Absoluter VaR [\$] - Risikofaktor w

$$VaR_{\alpha,w}^{abs} = 1.852,00 \frac{\text{\$}}{\text{Tonne}} \cdot 10.000 \text{ Tonnen} \cdot |0,08\% + (-1,645) \cdot 0,71\%| = \\ = 18,52 \text{ Mio. \$} \cdot 1,08\% = \mathbf{0,20 \text{ Mio. \$}}$$

Legt man den Schlusskurs €/\\$ am 30.09.2009 von 1,4642 zugrunde, so ergeben sich für die relativen und absoluten VaR der beiden Risikofaktoren folgende Werte (in €):

- Relativer VaR [€] - Risikofaktor v

$$VaR_{\alpha,v}^{rel} = 0,71 \text{ Mio. \$} \cdot 1,4642 \text{ €/\$} = \mathbf{1,04 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer VaR [€] - Risikofaktor w

$$VaR_{\alpha,w}^{rel} = 0,22 \text{ Mio. \$} \cdot 1,4642 \text{ €/\$} = \mathbf{0,32 \text{ Mio. €}}$$

- Absoluter VaR [€] - Risikofaktor v

$$VaR_{\alpha,v}^{abs} = 0,65 \text{ Mio. \$} \cdot 1,4642 \text{ €/\$} = \mathbf{0,95 \text{ Mio. €}}$$

- Absoluter VaR [€] - Risikofaktor w

$$VaR_{\alpha,w}^{abs} = 0,20 \text{ Mio. \$} \cdot 1,4642 \text{ €/\$} = \mathbf{0,29 \text{ Mio. €}}$$

Um einen erhöhten Ausweis des Gesamtrisikos der Risikoposition zu vermeiden, bedarf es der Aggregation der Einzelrisiken (vgl. Abb. 4-9). Nur im Fall vollständig positiv korrelierter Risikofaktoren ($\delta = 1$) kann auf eine Risikoaggregation verzichtet werden, da das Gesamtrisiko der Risikoposition der Summe der Einzelrisiken entspricht. Im vorliegenden Beispiel weisen die beiden Risikofaktoren Aluminiumpreis und Wechselkurs €/\\$ in den betrachteten 127 Handelstagen (01.04.2009 – 30.09.2009) eine Korrelation von 0,44 auf und sind somit schwach positiv korreliert.

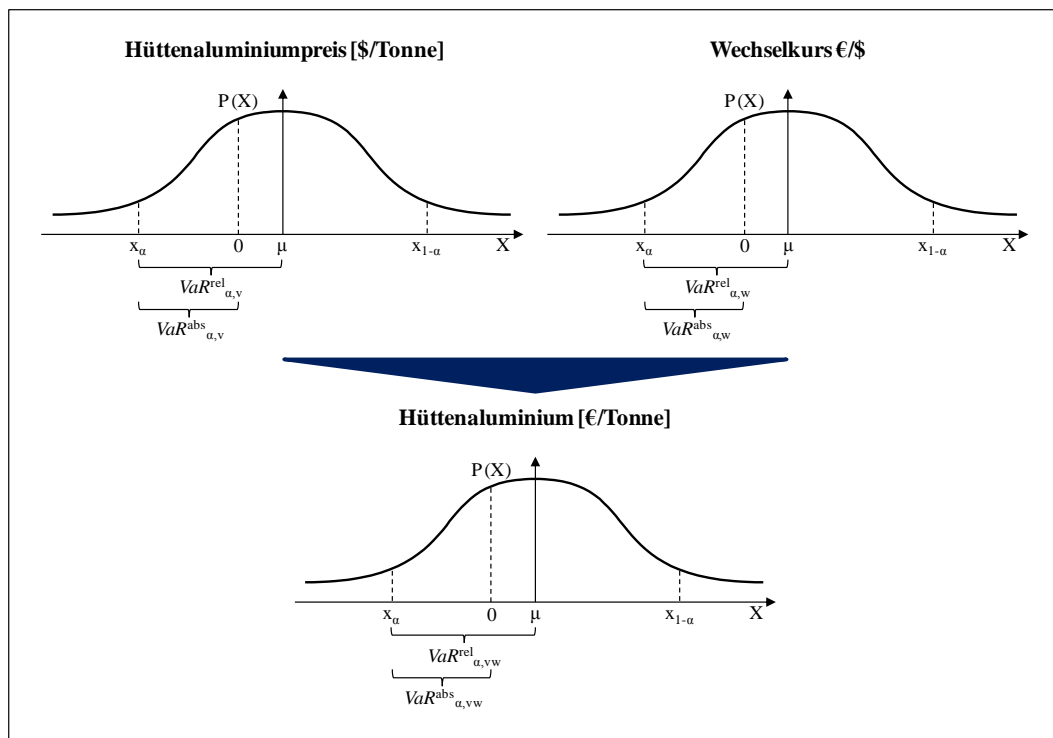


Abb. 4-9: Aggregation der Einzelrisiken einer Risikoposition.

Quelle: In Anlehnung an Hager/Wiedemann (2003), S. 9.

Unter Verwendung der folgenden mathematischen Zusammenhänge:

$$(1) VaR_{\alpha,vw}^{rel} = \left| \sqrt{\vec{X} \cdot \Omega \cdot \vec{X}^{trans}} \cdot (-z_{\alpha}) \right|$$

$$(2) \vec{X} = (\sigma_v \quad \sigma_w)$$

wird das Gesamtrisiko der Risikoposition (Hüttenaluminium) in Bezug auf die beiden Risikofaktoren (Aluminiumpreis, Wechselkurs €/€) wie folgt berechnet:

➤ Relativer VaR - Risikoposition - allgemein

$$\begin{aligned} VaR_{\alpha,vw}^{rel} &= \left| \sqrt{(\sigma_v \quad \sigma_w) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \delta_{vw} \\ \delta_{wv} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_v \\ \sigma_w \end{pmatrix}} \cdot (-z_{\alpha}) \right| = \\ &= \left| \sqrt{(VaR_{\alpha,v}^{rel} \quad VaR_{\alpha,w}^{rel}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \delta_{vw} \\ \delta_{wv} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} VaR_{\alpha,v}^{rel} \\ VaR_{\alpha,w}^{rel} \end{pmatrix}} \right| = \\ &= \left| \sqrt{(VaR_{\alpha,v}^{rel})^2 + (VaR_{\alpha,w}^{rel})^2 + VaR_{\alpha,v}^{rel} \cdot VaR_{\alpha,w}^{rel} \cdot \delta_{vw}} \right| \end{aligned}$$

- Relativer VaR [\$] - Risikoposition - Beispiel

$$VaR_{\alpha, vw}^{rel} = \left| \sqrt{(0,71 \text{ Mio. \$})^2 + (0,22 \text{ Mio. \$})^2 + 0,71 \text{ Mio. \$} \cdot 0,22 \text{ Mio. \$} \cdot 0,44} \right| =$$

$$= \mathbf{0,78 \text{ Mio. \$}}$$

- Relativer VaR [€] - Risikoposition - Beispiel

$$VaR_{\alpha, vw}^{rel} = 0,78 \text{ Mio. \$} \cdot 1,4642 \text{ €/\$} = \mathbf{1,14 \text{ Mio. €}}$$

Im Resultat beträgt das Gesamtrisiko auf Tagesbasis des deutschen Automobilherstellers in Bezug auf den Marktwert der Aluminiumvorräte am 30.09.2009 0,78 Mio. \$ bzw. 1,14 Mio. €.

Die Erweiterung der bisherigen Betrachtungen auf eine Risikoposition und V Risikofaktoren ist möglich, soll im Rahmen dieser Arbeit aber nur theoretisch anhand des nachfolgenden Zusammenhangs erläutert werden.

$$VaR_{\alpha, 1, \dots, V}^{rel} = \left| \sqrt{(\sigma_1, \dots, \sigma_V) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & \delta_{1,V} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{V,1} & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \vdots \\ \sigma_V \end{pmatrix} \cdot (-z_\alpha)} \right|$$

$$VaR_{\alpha, 1, \dots, V}^{rel} = \left| \sqrt{(VaR_{\alpha, 1}^{rel}, \dots, VaR_{\alpha, V}^{rel}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & \delta_{1,V} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{V,1} & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} VaR_{\alpha, 1}^{rel} \\ \vdots \\ VaR_{\alpha, V}^{rel} \end{pmatrix}} \right|$$

Insbesondere die Identifikation aller relevanten Risikofaktoren sowie die Abschätzung der Sensitivitätsfaktoren und Korrelationskoeffizienten stellen dabei eine nicht zu unterschätzende Komplexitätserhöhung dar. Im Rahmen der nachfolgenden risikoadjustierten Investitionsbewertung werden die vorgestellten Risikokennzahlen zur Adjustierung des im Zuge der Investitionsbewertung diskutierten Kapitalwerts herangezogen.

5. Risikoadjustierte Investitionsbewertung

Die Integration der Risikoperspektive in die Investitionsbewertung trägt dem Umstand Rechnung, dass unternehmerische Entscheidungen stets unter Unsicherheit getroffen werden. Um unter diesen Voraussetzungen das verfügbare Risikokapital eines Unternehmens (möglichst) optimal zu allokkieren, bedarf es der Abstimmung von Risiken und Chancen. Dieses Risiko-Chancen-Kalkül bildet die Grundlage der risikoadjustierten Performancemessung und der daraus abgeleiteten Steuerungsgrößen.

5.1. Risikokalküle als Grundlage der risikoadjustierten Investitionsbewertung

Im Rahmen von Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit sind für Unternehmen zwei zentrale Fragen zu klären:²¹⁴

- (1) Wie viel Risiko kann ein Unternehmen eingehen?
- (2) Welche Risiken sollten aus ökonomischer Sicht eingegangen werden?

Diese beiden Fragestellungen bilden die Grundlage für die im Rahmen des Risikomanagements von (Nicht-)Finanzunternehmen maßgeblichen Risikokalküle, das Risikotragfähigkeitskalkül und das Risiko-Chancen-Kalkül. Diese Risikokalküle können somit als Grundsätze der Risikosteuerung betrachtet werden.²¹⁵

5.1.1. Risikotragfähigkeitskalkül

Die Tatsache, dass übernommene Risiken zumindest teilweise schlagend werden und zu Verlusten führen, veranlasst Unternehmen zur Anwendung des Vorsichtsprinzips.²¹⁶ Dieses besagt, dass das kalkulierte (Gesamt-) Risikopotenzial bzw. (Gesamt-)Verlustpotenzial eines Unternehmens dessen (Gesamt-)Risikotragfähigkeitspotenzial nicht überschreiten darf.²¹⁷ Der darin zum Ausdruck gebrachte Grundgedanke der Existenzsicherung wird durch das Risikotragfähigkeitskalkül

²¹⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Schierenbeck (2001), S. 718.

²¹⁵ Vgl. Kirmße (2001), S. 1027f.

²¹⁶ Vgl. Schierenbeck (2003), S. 14.

²¹⁷ Vgl. ebenda, S. 14; Lister (1997), S. 187.

operationalisiert.²¹⁸ Dabei beruht die Kalkulation des (Gesamt-)Risikopotenzials auf einer Vielzahl von Risikobelastungsszenarien.²¹⁹ Das Risikotragfähigkeitspotenzial des Gesamtunternehmens wird in Form von Risikodeckungsmassen auf die einzelnen Teilbereiche allokiert. Die Allokation dieser Risikodeckungsmassen erfolgt auf der Grundlage eines Limitsystems mit zeitperiodenspezifischen Verlustlimits für die Teilbereiche.²²⁰ Die Mindesthöhe der zur Verlustdeckung vorzuhaltenden Risikodeckungsmassen bezeichnet man als sog. „Ökonomisches Kapital“ bzw. „Risikokapital“.²²¹

5.1.2. Risiko-Chancen-Kalkül

Dem Grundsatz nach ist die Übernahme von Risiko kein Selbstzweck, sondern muss dem Rentabilitätsgedanken konsequent untergeordnet werden.²²² Vor diesem Hintergrund müssen die Ertragschancen von Investitionen ins Verhältnis zu den damit verbundenen Risiken gesetzt werden. Die integrative Betrachtung von Ertrag und Risiko verfolgt das Ziel der effizientesten Kapitalallokation.²²³ Das daraus resultierende Risiko-Chancen-Profil gibt Aufschluss darüber, ob eine Investition getätigt werden sollte.²²⁴ Die Entscheidung, ob eine lohnenswerte Investition letztendlich realisiert wird, hängt neben den Finanzierungsmöglichkeiten vor allem vom Risikotragfähigkeitspotenzial eines Unternehmens ab. Das bedeutet, die Höhe des quantifizierten Risikos (Risk Exposure) wird durch die allokierten Risikodeckungspotenziale (Risk Taking Capacity) begrenzt.

5.2. Risikoadjustierte Performancemessung

Vor dem Hintergrund der vorgestellten Risikokalküle erfolgt im Rahmen der risikoadjustierten Performancemessung, auch bekannt als Risk Adjusted Performance Measurement (*RAPM*), die Ableitung von Steuerungsgrößen zur Risikosteuerung,

²¹⁸ Vgl. Kirmße (2001), S. 1028.

²¹⁹ Vgl. dazu und im Folgenden Schierenbeck (2003), S. 14.

²²⁰ Vgl. Herzog/Lutz (2005), S. 769f.; ebenda, S. 14.

²²¹ Vgl. Schierenbeck (2003), S. 15.

²²² Vgl. dazu und im Folgenden Schierenbeck (2001), S. 718.

²²³ Vgl. Kirmße (2001), S. 1028.

²²⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Schierenbeck (2001), S. 718.

Risikokontrolle und Risikokapitalallokation.²²⁵ Insofern stellt die risikoadjustierte Performancemessung die konkrete Umsetzung bzw. Operationalisierung der Risikokalküle in der Unternehmenssteuerung dar. In der klassischen, auf Ertrag ausgerichteten Performancemessung, meist mit dem Return on Investment (*ROI*) oder Return on Equity (*ROE*) als Spitzenkennzahl, werden die eingegangenen Risiken nicht berücksichtigt. Entscheidend für die Allokation der Eigen- und Fremdkapitalmittel des Unternehmens ist somit ausschließlich der erwartete Erfolg eines Geschäftsbereichs bzw. Projekts. Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser klassischen Performancemessung findet bei der risikoadjustierten Performancemessung eine Erweiterung der Erfolgs- um eine Risikoperspektive statt.²²⁶ Den nachfolgenden Ausführungen zu risikoadjustierten Performancekennzahlen als Steuerungsgrößen der risikoadjustierten Performancemessung liegt eine Differenzierung nach dem Gegenstand des Unternehmens (Finanz- oder Nichtfinanzunternehmen) und der Art der Risikoadjustierung zugrunde.

5.3. Klassische risikoadjustierte Performancekennzahlen

Die risikoadjustierte Performancemessung basiert auf den Erkenntnissen der Portefeuille- und Kapitalmarkttheorie.²²⁷ Durch die Verknüpfung von Erfolg und Risiko wird die Vergleichbarkeit von Wertpapierportefeuilles mit divergierenden Risikoprofilen hergestellt. Maßgeblich für die Entwicklung der risikoadjustierten Performancekennzahlen sind dabei die Ansätze von Jensen²²⁸, Treynor²²⁹ und Sharpe²³⁰, die allesamt auf der Grundlage des *CAPM* entwickelt wurden, sich jedoch hinsichtlich des verwendeten Risikobegriffs sowie in der Art der Risikoadjustierung unterscheiden.²³¹ Diese Ansätze leiten sich aus der Steigung der Kapitalmarktklinie

²²⁵ Vgl. Saita (1999), S. 97.

²²⁶ Vgl. Lister (1997), S. 35.

²²⁷ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 282.

²²⁸ Vgl. Jensen (1968), S. 389-416.

²²⁹ Vgl. Treynor (1965), S. 63-75.

²³⁰ Vgl. Sharpe (1966), S. 119-138.

²³¹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 282.

$$\frac{\mu_{MP} - r_f}{\sigma_{MP}}$$

ab.²³² Dieser Marktpreis des Risikos, in Form des Erwartungswerts der Risikoprämie in Bezug auf eine zusätzliche Einheit Risiko, determiniert die grundlegende Struktur risikoadjustierter Performancekennzahlen.

5.3.1. Ansatz von Jensen

Jensen geht bei seinem Ansatz implizit davon aus, dass bestimmte Marktteilnehmer temporäre Ungleichgewichte auf dem Kapitalmarkt dazu nutzen können, um außerordentliche Gewinne zu realisieren.²³³ Kurzfristige Informationsasymmetrien führen dazu, dass diese Marktteilnehmer über- bzw. unterbewertete Wertpapiere, die sich ober- bzw. unterhalb der Wertpapierlinie befinden, frühzeitig erkennen. Durch diesen Informationsvorsprung können diese Marktteilnehmer Renditen erzielen, die über der Durchschnittsrendite des Marktes liegen. Die von Jensen definierte risikoadjustierte Performancekennzahl, besser bekannt als Jensens Alpha (α_{WP}), ermittelt, ausgehend von der ex post-Wertpapierlinie, die Differenz zwischen der realisierten Überrendite eines Wertpapierportefeuilles ($r_{WP} - r_f$) und der theoretischen, auf der Basis des CAPM errechneten Überrendite $(r_{MP} - r_f) \cdot \beta_{WP}$.²³⁴ Damit ermöglicht Jensens Alpha eine „in Renditeprozentpunkten gemessene Bewertung der Performance“.²³⁵ Analytisch lässt sich Jensens Alpha durch folgenden Zusammenhang darstellen:²³⁶

$$\alpha_{WP} = (r_{WP} - r_f) - [(r_{MP} - r_f) \cdot \beta_{WP}]$$

Jensens Alpha eignet sich insbesondere zur Beurteilung der Leistungs- bzw. Selektionsfähigkeit von Fondmanagern, indem es die Performance eines Wertpapierportefeuilles relativ zum Markt misst.²³⁷ Im Rahmen der Rangfolgeermittlung von

²³² Vgl. dazu und im Folgenden Hull (2009), S. 759-761.

²³³ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 282.

²³⁴ Vgl. Schröck (1997), S. 94.

²³⁵ Scholz/Wilkens (1999), S. 309.

²³⁶ Vgl. Schröck (1997), S. 94.

²³⁷ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 283; ebenda, S. 95.

Wertpapierportefeuilles ist die Anwendung des Jensen Alpha allerdings auf Wertpapierportefeuilles beschränkt, die das gleiche systematische Risiko aufweisen.²³⁸ Daher eignet sich diese risikoadjustierte Performancekennzahl primär zur absoluten Leistungsbeurteilung.²³⁹

5.3.2. Ansatz von Treynor

Das Treynor-Maß bzw. „Reward to Volatility Ratio“ (T_{WP}) basiert, ebenso wie Jensens Alpha, auf der ex post-Wertpapierlinie des CAPM, wobei die realisierten Portefeullerrenditen mit dem systematischen bzw. marktabhängigen Risiko adjustiert werden.²⁴⁰ Die dadurch erzielte Standardisierung ermöglicht die direkte Vergleichbarkeit von Wertpapierportefeuilles mit unterschiedlichen systematischen Risiken.²⁴¹ Treynors risikoadjustierte Performancekennzahl beruht auf der Annahme eines vollständig diversifizierten Portefeuilles. Das verbleibende, nicht diversifizierbare Marktrisiko bzw. systematische Risiko wird durch den Betafaktor β_{WP} ausgedrückt. Definitionsgemäß erfasst das Treynor-Maß die Risikoprämie eines Portefeuilles je Einheit des systematischen Risikos. Der entsprechende analytische Zusammenhang lautet wie folgt:²⁴²

$$\begin{aligned} T_{WP} &= \frac{\text{Erzielte Rendite} - \text{Risikoloser Zinssatz}}{\text{Systematisches Risiko}} = \\ &= \frac{\text{Überrendite}}{\text{Systematisches Risiko}} = \frac{r_{WP} - r_f}{\beta_{WP}} \end{aligned}$$

Zwischen dem Treynor-Maß und der Performance eines Portefeuilles besteht folgender Zusammenhang: Je größer das Treynor-Maß, umso besser ist die absolute Performance des Portefeuilles. Demgegenüber ergibt sich die relative Performance eines Portefeuilles aus dem Vergleich mit anderen Portefeuilles, beispielsweise dem Marktportefeuille. Dabei stellt das Treynor-Maß des Marktportefeuilles insofern eine Besonderheit dar, als der Betafaktor des Marktportefeuilles definitionsgemäß

²³⁸ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 283; Schröck (1997), S. 95.

²³⁹ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 283.

²⁴⁰ Vgl. Treynor (1965), S. 63-75; ebenda, S. 283; Schröck (1997), S. 95.

²⁴¹ Vgl. dazu und im Folgenden Perridon/Steiner (2007), S. 283.

²⁴² Vgl. ebenda, S. 283; Schröck (1997), S. 95.

mäß eins ist. Somit ergibt sich für das Treynor-Maß des Marktportefeuilles folgender Zusammenhang, der gleichzeitig der Steigung der ex post-Wertpapierlinie entspricht:

$$T_{MP} = \frac{r_{MP} - r_f}{\beta_{MP}} = \frac{r_{MP} - r_f}{1} = r_{MP} - r_f$$

5.3.3. Ansatz von Sharpe

Das Sharpe-Maß bzw. „Reward to Variability Ratio“ (S_{WP}) dient zur Beurteilung realisierter Renditen risikobehafteter Wertpapierportefeuilles.²⁴³ Hierbei wird die Überrendite bzw. Risikoprämie, d.h. die Differenz aus erzielter Rendite und risikolosem Zinssatz, in Relation zum Gesamtrisiko des Wertpapierportefeuilles gesetzt.²⁴⁴

$$\begin{aligned} S_{WP} &= \frac{\text{Erzielte Rendite} - \text{Risikoloser Zinssatz}}{\text{Gesamtrisiko}} = \\ &= \frac{\text{Überrendite}}{\text{Gesamtrisiko}} = \frac{r_{WP} - r_f}{\sigma_{WP}} \end{aligned}$$

Das Gesamtrisiko wird dabei durch die Standardabweichung der realisierten Portefeuillerenditen quantifiziert.²⁴⁵ Somit bezeichnet das Sharpe-Maß die Risikoprämie je Einheit des Gesamtrisikos und entspricht zudem der Steigung der Portefeuillegeraden.²⁴⁶ Die Höhe des Sharpe-Maßes respektive der Grad der Steigung der Portefeuillegeraden gibt Aufschluss über die absolute Performance des Portefeuilles. Dabei gilt: Je größer das Sharpe-Maß bzw. je steiler der Verlauf der Portefeuillegeraden, desto besser ist die absolute Performance des Portefeuilles.

Die relative Performance im Vergleich zum Marktportefeuille ergibt sich aus dem Vergleich des Sharpe-Maßes eines beliebigen Portefeuilles mit dem Sharpe-Maß des Marktportefeuilles.²⁴⁷ Das Sharpe-Maß des Marktportefeuilles ist identisch mit der ex post-Steigung der Kapitalmarktlinie.

²⁴³ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 283.

²⁴⁴ Vgl. Sharpe (1966), S. 119-121.

²⁴⁵ Vgl. Schröck (1997), S. 95; Perridon/Steiner (2007), S. 283.

²⁴⁶ Vgl. Schröck (1997), S. 95; Perridon/Steiner (2007), S. 284.

²⁴⁷ Vgl. dazu und im Folgenden Sharpe (1966), S. 123.

$$S_{MP} = \frac{r_{MP} - r_f}{\sigma_{MP}}$$

Da Jensens Alpha ebenso wie das Treynor-Maß auf der ex post-Wertpapierlinie des *CAPM* basieren, erfolgt bei beiden Kennzahlen die Risikoadjustierung durch die Verwendung des systematischen Risikos.²⁴⁸ Infolgedessen ist deren Anwendung auf gut diversifizierte Portefeuilles beschränkt.²⁴⁹ Darüber hinaus ist für die Berechnung des systematischen Risikos die Konstruktion eines Index erforderlich, der an die Stelle des nicht beobachtbaren Marktportefeuilles tritt.²⁵⁰

Im Gegensatz hierzu basiert das Sharpe-Maß auf der ex post-Kapitalmarktklinie und berücksichtigt daher sowohl das systematische als auch das unsystematische Risiko.²⁵¹ Demzufolge können Verzerrungen aufgrund fehlender Diversifikation eines Portefeuilles vermieden werden.²⁵² Des Weiteren unterliegt das Sharpe-Maß nicht der impliziten Annahme, dass das systematische Risiko eines Wertpapierportefeuilles im Zeitablauf konstant bleibt.²⁵³

5.4. Risikoadjustierte Performancekennzahlen in Finanzunternehmen

Mit dem Ziel, eine integrierte Risiko-/Rendite-Messung und -Steuerung im Hinblick auf eine wertorientierte Unternehmensführung zu gewährleisten, erfolgte eine kontinuierliche Weiterentwicklung risikoadjustierter Performancekennzahlen in Finanzunternehmen.²⁵⁴ Diese betrieblichen Steuerungskennzahlen lassen sich in ihrer Grundkonzeption aus den klassischen risikoadjustierten Performancekennzahlen der Kapitalmarkttheorie ableiten. Dabei wird eine im Zähler stehende Ergebnisgröße durch eine Kapitalgröße dividiert.²⁵⁵ Infolgedessen weisen die in der Regel einperiodigen, risikoadjustierten Performancekennzahlen in Finanzunternehmen folgende Struktur auf:²⁵⁶

²⁴⁸ Vgl. Schröck (1997), S. 96; Perridon/Steiner (2007), S. 284.

²⁴⁹ Vgl. Schröck (1997), S. 96.

²⁵⁰ Vgl. ebenda, S. 96; Perridon/Steiner (2007), S. 284.

²⁵¹ Vgl. Schröck (1997), S. 96.

²⁵² Vgl. ebenda, S. 96; Perridon/Steiner (2007), S. 284.

²⁵³ Vgl. Perridon/Steiner (2007), S. 284.

²⁵⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Paul (2001), S. 1109.

²⁵⁵ Vgl. Entrop/Scholz/Wilkens (2004), S. 2; Scherpereel (2006), S. 68.

²⁵⁶ Vgl. Scherpereel (2006), S. 68.

$$\text{Kennzahl} = \frac{\text{Ergebnisgröße}}{\text{Kapitalgröße}}$$

Die Differenzierung der Performancekennzahlen erfolgt nach der Art der Risikoadjustierung. Dem Grundsatz nach ist dabei eine Risikoadjustierung bei einer der beiden Größen (Ergebnis oder Kapital) oder bei beiden (Ergebnis und Kapital) möglich.²⁵⁷ Die Art der Risikoadjustierung sowie die konkrete Ausgestaltung der Ergebnis- und Kapitalgröße richten sich nach den jeweiligen Anwendungszusammenhängen und -erfordernissen.²⁵⁸

5.4.1. Return on Risk Adjusted Capital

Bei der risikoadjustierten Performancekennzahl Return on Risk Adjusted Capital (*RORAC*) wird die im Nenner ausgewiesene Kapitalgröße risikobereinigt.²⁵⁹ Dabei ist der *RORAC* einer Risikoposition x ($RORAC_x$) definiert als Quotient aus dem (erwarteten) Nettoergebnis der Risikoposition und dem das Risikopotenzial der Position widerspiegelnden Risikokapital (RK).²⁶⁰

$$RORAC_x = \frac{(\text{erwarteter}) \text{ Nettoergebnisbeitrag}_x}{RK_x}$$

Auf der Grundlage des *RORAC* können Risikopositionen mit unterschiedlicher Risikostruktur unmittelbar miteinander verglichen werden.²⁶¹ Die Voraussetzung dafür ist die Verwendung des *VaR* mit einheitlichem Konfidenzniveau und Betrachtungszeitraum als Maß für das Risikokapital.²⁶² Die Anwendung des *RORAC* ermöglicht die vollständige Ordnung von Risikopositionen.²⁶³ Aufgrund dieser Eigenschaft kann der *RORAC* als Maß für die relative Vorteilhaftigkeit von Risikopositionen interpretiert werden. Zur Beurteilung der absoluten Vorteilhaftigkeit einer Risikoposition im Unternehmenskontext ist der *RORAC* indes nicht geeignet. Im Rahmen der operativen Risiko-Rendite-Steuerung empfiehlt es sich, die mit Hilfe

²⁵⁷ Vgl. Gebhardt/Mansch (2005), S. 46.

²⁵⁸ Vgl. Entrop/Scholz/Wilkens (2004), S. 2.

²⁵⁹ Vgl. Paul (2001), S. 1109.

²⁶⁰ Vgl. ebenda, S. 1109; Entrop/Scholz/Wilkens (2004), S. 3.

²⁶¹ Vgl. Schierenbeck (2001), S. 722.

²⁶² Vgl. ebenda, S. 722; Homburg/Stephan (2004), S. 318; Lister (1997), S. 36.

²⁶³ Vgl. Scherpereel (2006), S. 70.

des *RORAC* bewerteten Risikopositionen in absteigender Reihenfolge, d.h. beginnend mit der Risikoposition, die den höchsten *RORAC* aufweist, aufzulisten.

5.4.2. Risk Adjusted Return on Capital

Unter dem Begriff Risk Adjusted Return on Capital (*RAROC*) werden in der Literatur zwei unterschiedliche risikoadjustierte Performancekennzahlen subsumiert, die im Folgenden als *RAROC im engeren Sinne* (*RAROC i. e. S.*) und *RAROC im weiteren Sinne* (*RAROC i. w. S.*) bezeichnet werden.²⁶⁴ Der *RAROC im engeren Sinne* einer Risikoposition x (*RAROC i. e. S.* _{x}) bildet das Verhältnis aus (erwartetem) risikoadjustiertem Nettoergebnisbeitrag der Risikoposition und dem der Risikoposition zugewiesenen Eigenkapital (*EK*) ab. Somit erfolgt die Risikoadjustierung bei der Ergebnisgröße im Zähler.

$$RAROC \text{ i. e. S. }_x = \frac{(\text{erwarteter}) \text{ risikoadjustierter Nettoergebnisbeitrag}_x}{EK_x}$$

Im Unterschied zum *RAROC im engeren Sinne* wird beim *RAROC im weiteren Sinne* anstelle des eingesetzten Eigenkapitals das allokierte Risikokapital als Bezugsgröße herangezogen. Aufgrund der Risikoadjustierung der Ergebnis- und Kapitalgröße wäre für diese risikoadjustierte Performancekennzahl die Bezeichnung Risk Adjusted Return on Risk Adjusted Capital (*RARORAC*) zutreffender.²⁶⁵ Auf diese formal richtige Bezeichnung des *RAROC im weiteren Sinne* als *RARORAC* wird in den nachfolgenden Ausführungen jedoch verzichtet, da sich diese in der Literatur nicht durchgesetzt hat.²⁶⁶ Analytisch ergibt sich für den *RAROC im weiteren Sinne* einer Risikoposition folgender Zusammenhang:²⁶⁷

$$RAROC \text{ i. w. S. }_x = \frac{(\text{erwarteter}) \text{ risikoadjustierter Nettoergebnisbeitrag}_x}{RK_x}$$

²⁶⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Paul (2001), S. 1109f.

²⁶⁵ Vgl. ebenda, S. 1110; Lister (1997), S. 211.

²⁶⁶ Vgl. Paul (2001), S. 1110.

²⁶⁷ Vgl. Entrop/Scholz/Wilkens (2004), S. 3.

Die Berücksichtigung des Risikos bei der Ergebnisgröße erfolgt, indem der (erwartete) Nettoergebnisbeitrag der Risikoposition um einen aus dem Verzinsungsanspruch der Investoren abgeleiteten Ziel-Nettoergebnisbeitrag für diese Risikoposition vermindert wird.²⁶⁸

$$RAROC \text{ i. w. S. } _x = \frac{(\text{erwarteter}) \text{ Nettoergebnisbeitrag}_x - \text{Ziel-Nettoergebnisbeitrag}_x}{RK_x}$$

Der Ziel-Nettoergebnisbeitrag der Risikoposition wird aus dem Eigenkapitalverzinsungsanspruch auf das investierte Kapital abgeleitet. Dies geschieht konzeptionell, indem beispielsweise der Verzinsungsanspruch der Investoren auf den Marktwert des Eigenkapitals (r_{EK}^{Soll}) auf das Risikokapital aller Risikopositionen des Unternehmens normiert wird. Dadurch ergibt sich der Verzinsungsanspruch der Investoren je Einheit Risikokapital (r_{RK}^{Soll}).

$$r_{RK}^{Soll} = r_{EK}^{Soll} \cdot \frac{V_{EK}}{RK_x}$$

Dieser Anspruch kann, in Anlehnung an die Definition des *RORAC*, auch als Ziel-*RORAC* einer Risikoposition interpretiert werden.

$$\text{Ziel-RORAC}_x = \frac{\text{Ziel-Nettoergebnisbeitrag}_x}{RK_x}$$

Der Ziel-Nettoergebnisbeitrag einer Risikoposition ist demnach definiert als Produkt aus Ziel-*RORAC* und Risikokapital einer Risikoposition.

$$\text{Ziel-Nettoergebnisbeitrag}_x = \text{Ziel-RORAC}_x \cdot RK_x$$

Unter Verwendung der Bestimmungsgleichung für den Ziel-Nettoergebnisbeitrag ergibt sich für den *RAROC im weiteren Sinne* einer Risikoposition folgender Zusammenhang:²⁶⁹

$$RAROC \text{ i. w. S. } _x =$$

²⁶⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Paul (2001), S. 1110.

²⁶⁹ Vgl. dazu und im Folgenden ebenda, S. 1110; Homburg/Stephan (2004), S. 318; Gebhardt/Mansch (2005), S. 49.

$$= \frac{(\text{erwarteter}) \text{ Nettoergebnisbeitrag}_x - \text{Ziel-RORAC}_x \cdot \text{RK}_x}{\text{RK}_x}$$

Durch die nachfolgende vereinfachende Schreibweise des *RAROC im weiteren Sinne* wird der enge Zusammenhang zwischen *RAROC* und *RORAC* verdeutlicht.

$$\text{RAROC i. w. S.}_x = (\text{erwarteter}) \text{ RORAC}_x - \text{Ziel-RORAC}_x$$

Darüber hinaus wird aus dieser Darstellung ersichtlich, dass es sich beim *RAROC im weiteren Sinne* ebenso wie z.B. beim Economic Value Added (*EVA*) um ein Übergewinnkonzept handelt.²⁷⁰ Der *Ziel-RORAC* einer Risikoposition kann als Risikoprämie bzw. erwartete Mindestrendite der Investoren auf das investierte Kapital angesehen werden.²⁷¹ Idealerweise entspricht der *Ziel-RORAC* mindestens der Rendite einer am Kapitalmarkt gehandelten Anlage mit identischem Risiko. Im Rahmen der Unternehmenssteuerung wird jedoch meist auf eine Ableitung risikopositionsspezifischer *Ziel-RORAC* zu Gunsten eines auf Unternehmensebene definierten *Ziel-RORAC* verzichtet.²⁷² In diesem Fall entspricht der *Ziel-RORAC* einer Risikoposition annahmegemäß dem unternehmensspezifischen *Ziel-RORAC*.

$$\text{Ziel-RORAC}_x = \text{Ziel-RORAC}_{GU}$$

Wie zuvor diskutiert, lassen sich die risikoadjustierten Performancekennzahlen in Finanzunternehmen aus den klassischen risikoadjustierten Performancekennzahlen der Kapitalmarkttheorie ableiten. Diese Tatsache lässt sich besonders gut am Beispiel des Sharpe-Maßes und *RAROC im weiteren Sinne* verdeutlichen, sofern als *Ziel-RORAC* einer Risikoposition der risikolose Zinssatz gewählt wird. Unter der Annahme, dass ein Wertpapierportefeuille die Risikoposition darstellt und die Renditen normalverteilt sind, ergeben sich für das Sharpe-Maß und den *RAROC im weiteren Sinne* folgende Bestimmungsgleichungen:

$$\text{RAROC i. w. S.}_{WP} = \frac{r_{WP} \cdot \text{RK}_{WP} - r_f \cdot \text{RK}_{WP}}{\text{RK}_{WP}}$$

$$\text{SM}_{WP} = \frac{r_{WP} \cdot \text{RK}_{WP} - r_f \cdot \text{RK}_{WP}}{\sigma_{WP} \cdot \text{RK}_{WP}}$$

²⁷⁰ Vgl. Paul (2001), S. 1111; Lister (1997), S. 36.

²⁷¹ Vgl. dazu und im Folgenden Gebhardt/Mansch (2005), S. 50.

²⁷² Vgl. ebenda, S. 50; Schierenbeck (2001), S. 723.

Bei der Zusammenführung dieser beiden Gleichungen ergibt sich der *RAROC im weiteren Sinne* eines Wertpapierportefeuilles als lineare Transformation des Sharpe-Maßes.²⁷³

$$RAROC \text{ i. w. S. }_{WP} = \sigma_{WP} \cdot SM_{WP}$$

Somit entspricht der *RAROC im weiteren Sinne* dem Produkt von Gesamtrisiko und Sharpe-Maß des Wertpapierportefeuilles. Die vollständige Kompatibilität des *RAROC im weiteren Sinne* mit den Erkenntnissen der Kapitalmarkttheorie unterstreicht dessen Eignung als operative Steuerungskennzahl in Unternehmen, welche die Maximierung des Sharpe-Maßes anstreben. Ebenso wie der *RORAC* ermöglicht auch der *RAROC* die vollständige Ordnung von Risikopositionen unter der Voraussetzung, dass der *VaR* mit einheitlichem Konfidenzniveau und Betrachtungszeitraum als Maß für das Risikokapital verwendet wird. Im Gegensatz zum *RORAC* signalisiert ein positiver *RAROC* unmittelbar die absolute Vorteilhaftigkeit einer Risikoposition.²⁷⁴ Mit anderen Worten, nimmt der *RAROC* einen Wert größer null an, wird auf der betrachteten Unternehmens-, Geschäftsbereichs- oder Projektebene Wert geschaffen.²⁷⁵ Das dem Unternehmen zur Verfügung stehende Risikokapital wird unter Berücksichtigung der absteigenden Reihenfolge der Risikopositionen und stets unter der Maßgabe des Ziel-*RORAC* auf die Risikopositionen verteilt. Durch die Verwendung des *VaR* als Maß für das Risikokapital ist die Anwendbarkeit des *RORAC* und *RAROC im weiteren Sinne* auf die Bewertung finanzieller Risikopositionen beschränkt und daher für Nichtfinanzunternehmen nicht oder nur sehr eingeschränkt geeignet.²⁷⁶ Aufgrund dessen werden im folgenden Abschnitt risikoadjustierte Performancekennzahlen vorgestellt, die auf dem *CFaR*-Konzept basieren.

5.5. Risikoadjustierte Performancekennzahlen in Nichtfinanzunternehmen

Im Unterschied zu Finanzunternehmen sind in Nichtfinanzunternehmen Finanzrisiken häufig von nachrangiger Bedeutung für den Unternehmenserfolg. Stattdessen

²⁷³ Vgl. dazu und im Folgenden Gebhardt/Mansch (2005), S. 48f. und S. 185.

²⁷⁴ Vgl. Homburg/Stephan (2004), S. 318.

²⁷⁵ Vgl. Gebhardt/Mansch (2005), S. 50.

²⁷⁶ Vgl. Homburg/Stephan (2004), S. 318.

sehen sich diese Unternehmen meist mit erheblichen operativen Risiken im Leistungserstellungsprozess konfrontiert.²⁷⁷ Dieses abweichende Risikoprofil erfordert die Entwicklung von risikoadjustierten Performancekennzahlen, welche die Bewertung und Steuerung von Nichtfinanzunternehmen sowie deren Geschäftsbereichen und Investitionsprojekten ermöglichen. Charakteristisch für diese Risikopositionen sind Betrachtungszeiträume von mehreren Monaten bis hin zu mehreren Jahren. Aufgrund seiner Beschränkung auf kurze Betrachtungszeiträume sowie konzeptionellen Ausgestaltung erweist sich der *VaR* für diese Risikobewertung als ungeeignet.²⁷⁸ Infolgedessen scheiden die auf dem *VaR* basierenden Kennzahlen *RORAC* und *RAROC* für die risikoadjustierte Performancemessung in Nichtfinanzunternehmen aus. Sie werden durch speziell für Nichtfinanzunternehmen konzipierte risikoadjustierte Performancekennzahlen wie den Corporate Value on Discounted Risk Value (*CVODRV*) und Risk Adjusted Net Present Value (*RANPV*) substituiert. Während der *CVODRV* meist auf Gesamtunternehmensebene zur Anwendung kommt, eignet sich der *RANPV* besonders zum Einsatz auf Geschäftsbereichs- und Investitionsprojektebene.

5.5.1. Corporate Value on Discounted Risk Value

Vor dem Hintergrund der besonderen Eigenschaften von Risikopositionen in Nichtfinanzunternehmen haben Homburg und Stephan²⁷⁹ einen Ansatz zur risikoadjustierten Performancemessung in Nichtfinanzunternehmen entwickelt. Im Mittelpunkt dieses Ansatzes steht die risikoadjustierte Performancekennzahl *CVODRV*. Deren Konzeption ist auf die risikoadjustierte Bewertung und Steuerung des Gesamtunternehmens ausgerichtet. In seiner Grundstruktur gleicht der *CVODRV* den für Risikopositionen in Finanzunternehmen entwickelten risikoadjustierten Performancekennzahlen, d.h. die Ergebnisgröße wird ins Verhältnis zur Kapitalgröße gesetzt. Analog zum *RORAC* erfolgt die Risikoadjustierung ausschließlich bei der Kapitalgröße.

²⁷⁷ Vgl. Hager/Wiedemann (2003), S. 2.

²⁷⁸ Vgl. dazu und im Folgenden Homburg/Stephan (2004), S. 318.

²⁷⁹ Vgl. dazu und im Folgenden ebenda, S. 313-325.

Bei der im Zähler ausgewiesenen Ergebnisgröße handelt es sich um den Beitrag der Geschäftsbereiche eines Unternehmens zum Unternehmenswert, der in der Folge vereinfachend als Unternehmenswert (Corporate Value, CV) bezeichnet wird. Die Berechnung des Unternehmenswerts erfolgt durch die Diskontierung der erwarteten Free Cash Flows (FCF) der Geschäftsbereiche auf den Zeitpunkt t_0 . Als Zinssatz werden die gewichteten, durchschnittlichen Kapitalkosten (Weighted Average Cost of Capital, WACC) verwendet, wodurch sich ein Diskontfaktor von $(1 + WACC)^{-t}$ ergibt.

$$WACC = r_{EK} \cdot \frac{V_{EK}}{V_{EK} + V_{FK}} + (1 - s) \cdot r_{FK} \cdot \frac{V_{FK}}{V_{EK} + V_{FK}}$$

r_{EK} : Eigenkapitalkostensatz

r_{FK} : Fremdkapitalkostensatz

s : Steuersatz

V_{EK} : Marktwert des Eigenkapitals (Shareholder Value)

V_{FK} : Marktwert des Fremdkapitals

In Anlehnung an die Berechnung des NPV lässt sich der auf dem Wertbeitrag eines Geschäftsbereichs h basierende Unternehmenswert zum Zeitpunkt t_0 über folgenden analytischen Zusammenhang ermitteln:

$$CV_h = \sum_{t=0}^T FCF_{t,h} \cdot (1 + WACC)^{-t}$$

Analog dazu kann der auf dem Wertbeitrag aller Geschäftsbereiche eines Unternehmens basierende Unternehmenswert zum Zeitpunkt t_0 über folgende Gleichung bestimmt werden:

$$CV_{GU} = \sum_{h=1}^H \sum_{t=0}^T FCF_{t,h} \cdot (1 + WACC)^{-t}$$

Im Rahmen der Berechnung des Unternehmenswerts wird vereinfachend angenommen, dass die WACC für alle Geschäftsbereiche identisch und über die Zeit konstant, d.h. geschäftsbereichs- und periodenunabhängig, sind.

Beim *CVODRV* erfolgt die Risikoadjustierung auf der Grundlage des *CFaR*, da für die Planung, Bewertung und Steuerung von Investitionen überwiegend Zahlungsgrößen (Cash Flows) herangezogen werden. Durch die Verwendung des auf der Basis des *CFaR* ermittelten, relativen *DRV* als Risikomaß ermöglicht der *CVODRV*, im Gegensatz zum *RORAC* und *RAROC*, eine mehrperiodige Betrachtungsweise. Im Resultat ergibt sich der *CVODRV* eines Geschäftsbereichs sowie des Gesamtunternehmens zum Zeitpunkt t_0 durch die Zusammenführung des Unternehmenswerts (Ergebnisgröße) und des relativen *DRV* (Kapitalgröße) zu einer risikoadjustierten Performancekennzahl.

- *CVODRV* - Geschäftsbereich

$$CVODRV_{\alpha,h} = \frac{CV_h}{DRV_{\alpha,h}^{rel}} = \frac{\sum_{t=0}^T FCF_{t,h} \cdot (1 + WACC)^{-t}}{\sqrt{DCFaR_{\alpha,t,h}^{rel} \cdot \Omega \cdot DCFaR_{\alpha,t,h}^{rel \rightarrow trans}}}$$

- *CVODRV* - Gesamtunternehmen

$$CVODRV_{\alpha,GU} = \frac{CV_{GU}}{DRV_{\alpha,GU}^{rel}} = \frac{\sum_{h=1}^H \sum_{t=0}^T FCF_{t,h} \cdot (1 + WACC)^{-t}}{\sqrt{DRV_{\alpha,h}^{rel} \cdot \Omega \cdot DRV_{\alpha,h}^{rel \rightarrow trans}}}$$

Aus der Definition des *CVODRV* können weiterführende risikoadjustierte Performancekennzahlen wie der *RANPV* abgeleitet werden, die primär für die Anwendung im Kontext von Investitionsprojekten in Nichtfinanzunternehmen konzipiert wurden.

5.5.2. Risk Adjusted Net Present Value

Die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Performancekennzahl *CVODRV* eignet sich aufgrund ihrer Konzeption insbesondere zur risikoadjustierten Bewertung und Steuerung des Gesamtunternehmens sowie von dessen Geschäftsbereichen. Die Erweiterung des Anwendungsfelds des *CVODRV* um Investitionsprojekte bei Nichtfinanzunternehmen erfolgt mittels der nachfolgend diskutierten risikoadjustierten Performancekennzahl Risk Adjusted Net Present Value (*RANPV*).²⁸⁰ Die Grundstruktur des *RANPV* sieht vor, dass die Ergebnisgröße ins Verhältnis zur Kapitalgröße gesetzt wird. Bei der verwendeten Ergebnisgröße handelt es sich um

²⁸⁰ In Anlehnung an Kaufmann/Ridder (2003), S. 450-452.

den Kapitalwert eines Investitionsprojekts oder Investitionsprojektportefeuilles (*IPP*). Annahmegemäß ist der zur Abzinsung auf den Zeitpunkt t_0 verwendete Diskontsatz sowohl zeitperioden- als auch investitionsprojektunabhängig.

- Kapitalwert - Investitionsprojekt

$$NPV_n = -A_{0,n} + \sum_{t=0}^T \left[\frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right]$$

- Kapitalwert - Investitionsprojektportefeuille

$$NPV_{IPP} = \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(-A_{0,n}) + \frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right]$$

Als Kapitalgröße des *RANPV* dient der relative *DRV* des betrachteten Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles.

- Relativer *DRV* - Investitionsprojekt

$$DRV_{\alpha,n}^{rel} = \sqrt{DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel,trans}}$$

- Relativer *DRV* - Investitionsprojektportefeuille

$$DRV_{\alpha,IPP}^{rel} = \sqrt{DRV_{\alpha,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DRV_{\alpha,n}^{rel,trans}}$$

Durch die Korrelationskoeffizientenmatrix werden bei der Berechnung des relativen *DRV* eines Investitionsprojekts die intertemporalen Intraprojektdiversifikationseffekte erfasst. Bei der Quantifizierung des relativen *DRV* eines Investitionsprojektportefeuilles werden darüber hinaus die sog. „Interprojektdiversifikationseffekte“, d.h. die Diversifikationseffekte zwischen den Investitionsprojekten, berücksichtigt.

Der durch das Verhältnis von Kapitalwert und relativem *DRV* konstituierte *RANPV* eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles lässt sich wie folgt bestimmen:

- *RANPV* - Investitionsprojekt

$$RANPV_{\alpha,n} = \frac{NPV_n}{DRV_{\alpha,n}^{rel}} = \frac{-A_{0,n} + \sum_{t=0}^T \left[\frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right]}{\sqrt{DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel,trans}}}$$

- *RANPV* - Investitionsprojektportfeuille

$$\begin{aligned}
 RANPV_{\alpha,IPP} &= \frac{NPV_{IPP}}{DRV_{\alpha,IPP}^{rel}} = \\
 &= \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(-A_{0,n}) + \frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right]}{\sqrt{DRV_{\alpha,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{DRV_{\alpha,n}^{rel}}^{trans}}}
 \end{aligned}$$

Der *RANPV* eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportfeuillees ermöglicht es Unternehmen, neben der Ertrags- auch die Risikodimension in die Bewertung und Steuerung mit einfließen zu lassen. Um die (Handlungs-)Flexibilität als letzte noch fehlende Erfolgsdimension bei der Projektentscheidung und -steuerung berücksichtigen zu können, wird der *RANPV* im nachfolgenden Kapitel um den Realoptionswert erweitert.

5.6. Anwendung von risikoadjustierten Performancekennzahlen

In Abhängigkeit von den Determinanten der Ergebnisgrößen eignen sich die vorgestellten risikoadjustierten Performancekennzahlen sowohl zur ex ante-Steuerung als auch zur ex post-Beurteilung von Geschäftsbereichen, Investitionsprojekten und Investitionsprojektportfeuillees.²⁸¹ Die ex ante-Steuerung basiert auf den Erwartungswerten der zukünftigen Ergebnisse der betrachteten (Teil-) Einheit(en). Im Fall der Kenntnis der zukünftigen Ergebnisse liegt keine Entscheidung unter Unsicherheit vor, sondern de facto ein Problem der Portfeuilleoptimierung unter Nebenbedingungen. Insbesondere bei den risikoadjustierten Performancekennzahlen in Nichtfinanzunternehmen werden die Determinanten der Ergebnisgrößen, wie Erwartungswerte und Standardabweichungen, häufig auf der Grundlage von historischen Werten geschätzt. Bei einem ex post-Anwendungsbezug, d.h. einer nachträglichen Beurteilung der Ergebnisse einer (Teil-)Einheit, werden die realisierten anstelle der erwarteten Ergebnisgrößen verwendet.²⁸²

²⁸¹ Vgl. dazu und im Folgenden Entrop/Scholz/Wilkens (2004), S. 3.

²⁸² Vgl. Scherpereel (2006), S. 69.

6. Erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung

Im Verlauf der bisherigen Untersuchung hat sich gezeigt, dass Entscheidern in Finanz- und Nichtfinanzunternehmen eine Reihe von (risikoadjustierten) Performancekennzahlen im Rahmen der Entscheidungsfindung zur Verfügung stehen. Im Hinblick auf Investitionsprojekte bei Nichtfinanzunternehmen, die meist einen Zeitraum von mehreren Monaten bis hin zu mehreren Jahren umfassen, tragen die vorgestellten Kennzahlen den Informationsbedürfnissen der Entscheider nur teilweise Rechnung. Der Grund dafür liegt in der durch die Zeitdimension entstehenden Handlungsflexibilität im Sinne einer partiellen oder sogar vollständigen Reversibilität von im Zeitablauf getroffenen Entscheidungen. Um diese Flexibilität zu erfassen und dadurch eine ganzheitliche Bewertung und Steuerung von Investitionsprojekten und Investitionsprojektportefeuilles zu ermöglichen, bedarf es der Erweiterung der risikoadjustierten Investitionsbewertung um diesen Erfolgsfaktor. Dazu werden die Erkenntnisse der dynamischen Investitionsbewertung, risikoadjustierten Performancemessung und Realoptionstheorie miteinander verknüpft, und die Erfolgsfaktoren Ertrag, Risiko und Flexibilität zu einer erweiterten, risikoadjustierten Steuerungskennzahl, dem Extended Risk Adjusted Net Present Value (*ERANPV*), zusammengeführt. Der *ERANPV* ermöglicht somit die Berücksichtigung aller drei Erfolgsfaktoren im Entscheidungsprozess und eine ganzheitliche Werthaltigkeitsanalyse von Investitionsprojekten bzw. Investitionsprojektportefeuilles.

6.1. Annahmen und Anwendungsvoraussetzungen

Im Rahmen der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung wird den Entscheidern rationales und risikoscheues Verhalten unterstellt. Bei den Investitionsprojekten bzw. Investitionsprojektportefeuilles handelt es sich um Investitionen unter Unsicherheit, d.h. die Zahlungsrückflüsse sind risikobehaftet. Die Risikoadjustierung der erweiterten Ergebnisgröße trägt diesem Umstand Rechnung. Diese Grundannahmen werden durch weitere Annahmen ergänzt, die sich aus den konstituierenden Kennzahlen des *ERANPV* und deren Berechnungsverfahren ergeben. Für die Ein- und Auszahlungen der betrachteten Zeitperioden gilt, dass diese aus

Vereinfachungsgründen vollständig auf den Anfang einer jeden Zeitperiode entfallen, um eine unterjährige Diskontierung der Cash Flows zu vermeiden. Darüber hinaus seien die Cash Flows normalverteilt, um die Risikobewertung mittels des Varianz-Kovarianz-Ansatzes zu ermöglichen. Das Konfidenzniveau und die Korrelationen innerhalb eines Projekts bzw. Portefeuilles fließen ebenfalls als Annahmen in die Risikobewertung mit ein. Für den risikolosen Zinssatz gilt ebenso wie für den Diskontsatz, dass diese im Zeitablauf konstant sind.

Neben diesen (Grund-)Annahmen hängt die Anwendbarkeit der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung bei Nichtfinanzunternehmen vom Erfüllungsgrad der Anwendungsvoraussetzungen der erweiterten, risikoadjustierten Performancekennzahlen ab. Diese Voraussetzungen umfassen die Bereiche Investitionsprojektdauer, -kosten, -risiko und -komplexität sowie Handlungsflexibilität. Die Mindestanforderung in Bezug auf die Investitionsprojektdauer beträgt zwei Zeitperioden von jeweils mindestens drei Monaten, während die Höchstdauer keiner Beschränkung unterliegt. In der Regel wird die Dauer der analysierten Investitionsprojekte in Abhängigkeit von der Industrie zwischen zwei und sieben Jahren liegen. Durch die Unterteilung der Gesamtdauer in (äquidistante) Zeitperioden wird die Möglichkeit zur Einflussnahme auf den Projektverlauf geschaffen. Diese Handlungsflexibilität wird in Form von Realoptionsrechten modelliert, die während bzw. am Ende bestimmter Zeitperioden ausgeübt werden können. Neben der Mindestprojektdauer stellt die projekthärente Flexibilität zur Anpassung der ursprünglichen Projektentscheidung die zweite Pflichtvoraussetzung für die Anwendbarkeit der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung dar. Im Gegensatz dazu besitzen die übrigen drei Voraussetzungen (Investitionsprojektkosten, -risiko und -komplexität) Empfehlungscharakter. Dabei wird empfohlen, dass mindestens eine dieser Voraussetzungen einen mittleren bis hohen Erfüllungsgrad aufweist, damit sich die erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten lohnt. Die Richtwerte der voraussetzungsspezifischen Erfüllungsgrade (niedrig, mittel, hoch) sollten unternehmens- und/oder geschäftsbereichsindividuell definiert werden, wobei eine Unterschreitung eines oder mehrerer Richtwerte nicht als absolutes Ausschlusskriterium zu verstehen ist. Im Resultat sind erweiterte, risikoadjustierte Performancekennzahlen für die Bewertung von langen,

kapitalintensiven, riskanten und komplexen Investitionsprojekten, die durch ein hohes Maß an Handlungsflexibilität gekennzeichnet sind, besonders geeignet.

6.2. Erweiterte, risikoadjustierte Performancemessung

Die erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung wird durch den *ERANPV* operationalisiert. Dabei ermöglicht die Konzeption und Struktur des *ERANPV* die Anwendung bei Investitionsprojekten und Investitionsprojektportefeuilles. Die Ergebnisse dieser Investitionsbewertung können in sog. „Investitionsprojektrangfolgen bzw. Investitionsprojektportefeuillerangfolgen“ zusammengefasst werden, welche die relative Vorteilhaftigkeit einzelner Investitionsprojekte bzw. Investitionsprojektportefeuilles ausdrücken.

Inhaltlich betrachtet stellt der *ERANPV* eine Erweiterung des *RANPV* um den Erfolgsfaktor Flexibilität dar. Die Grundstruktur des *RANPV* ändert sich dahingehend, dass die Ergebnisgröße im Zähler um eine Flexibilitätsgröße erweitert wird, während die Kapitalgröße im Nenner unverändert bleibt.

$$\begin{aligned} ERANPV &= \frac{\text{Ergebnisgröße} + \text{Flexibilitätsgröße}}{\text{Kapitalgröße}} = \\ &= \frac{\text{Erweiterte Ergebnisgröße}}{\text{Kapitalgröße}} \end{aligned}$$

Anhand der nachfolgenden Abb. 6-1 wird die Entwicklung des *ERANPV* unter Berücksichtigung der Erfolgsfaktoren und strukturellen Zusammenhänge veranschaulicht.

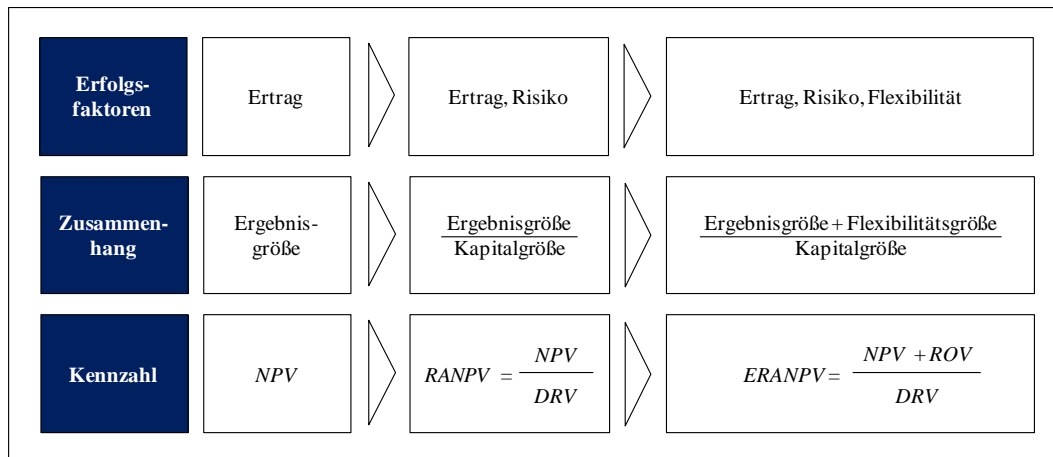


Abb. 6-1: Entwicklungsstufen des Extended Risk Adjusted Net Present Value.

Quelle: Eigene Darstellung.

Analog zum $RANPV$ bildet beim $ERANPV$ der erweiterte Kapitalwert (Extended Net Present Value, $ENPV$) die erweiterte Ergebnisgröße. Beim $ENPV$ werden der Kapitalwert (Ergebnisgröße) und Realoptionswert (Flexibilitätsgröße) eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles additiv miteinander verknüpft. Die Abzinsung der Rückflüsse auf den Zeitpunkt t_0 erfolgt über einen zeitperioden- und investitionsprojekt(portefeuille)unabhängigen Diskontsatz.

- Erweiterter Kapitalwert - Investitionsprojekt

$$\begin{aligned}
 ENPV_n &= NPV_n + ROV_n = \\
 &= -A_{0,n} + \sum_{t=0}^T \left[\frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right] + ROV_n
 \end{aligned}$$

- Erweiterter Kapitalwert - Investitionsprojektportefeuille

$$\begin{aligned}
 ENPV_{IPP} &= NPV_{IPP} + ROV_{IPP} = \\
 &= \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(-A_{0,n}) + \frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right] + \sum_{n=1}^N ROV_n
 \end{aligned}$$

Über den Realoptionswert und dessen funktionale Ausgestaltung wird die Wechselwirkung der Flexibilität bei einem Investitionsprojekt implizit mitberücksichtigt. In Bezug auf die Investitionsprojekte eines Investitionsprojektportefeuilles wird unterstellt, dass diese aus Flexibilitätssicht unabhängig voneinander sind. Infolgedessen treten keine Wechselwirkungen der Flexibilität innerhalb eines Investitionspro-

jektportefeuilles auf, was dazu führt, dass der Realloptionswert eines Investitionsprojektportefeuilles der Summe der Realloptionswerte der konstituierenden Investitionsprojekte entspricht.

Der relative *DRV* des betrachteten Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles stellt beim *ERANPV* ebenso wie beim *RANPV* die Kapitalgröße dar.

- Relativer *DRV* - Investitionsprojekt

$$DRV_{\alpha,n}^{rel} = \sqrt{DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel,trans}}$$

- Relativer *DRV* - Investitionsprojektportefeuille

$$DRV_{\alpha,IPP}^{rel} = \sqrt{DRV_{\alpha,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DRV_{\alpha,n}^{rel,trans}}$$

Während die Ausgestaltung der diskontierten *CFaR* die Möglichkeit bietet, dass intratemporale Intraprojektdiversifikationseffekte implizit mitberücksichtigt werden können, werden bei der Berechnung des relativen *DRV* eines Investitionsprojekts durch die Korrelationskoeffizientenmatrix die intertemporalen Intraprojektdiversifikationseffekte direkt erfasst. Ergänzend zu diesen beiden Arten von Intraprojektdiversifikationseffekten werden bei der Ermittlung des relativen *DRV* eines Investitionsprojektportefeuilles mittels der Korrelationskoeffizientenmatrix die Interprojektdiversifikationseffekte mit einbezogen.

Durch die Verknüpfung von erweiterter Ergebnisgröße und Kapitalgröße, d.h. von *ENPV* und relativem *DRV*, erhält man die nachfolgenden *ERANPV* eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles zum Zeitpunkt t_0 :

- *ERANPV* - Investitionsprojekt

$$\begin{aligned} ERANPV_{\alpha,n} &= \frac{NPV_n + ROV_n}{DRV_{\alpha,n}^{rel}} = \frac{ENPV_n}{DRV_{\alpha,n}^{rel}} = \\ &= \frac{-A_{0,n} + \sum_{t=0}^T \left[\frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right] + ROV_n}{\sqrt{DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DCFaR_{\alpha,t,n}^{rel,trans}}} \end{aligned}$$

- *ERANPV* - Investitionsprojektportefeuille

$$ERANPV_{\alpha,IPP} = \frac{NPV_{IPP} + ROV_{IPP}}{DRV_{\alpha,IPP}^{rel}} = \frac{ENPV_{IPP}}{DRV_{\alpha,IPP}^{rel}} =$$

$$= \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left[(-A_{0,n}) + \frac{(E_{t,n} - A_{t,n})}{(1+r)^t} + \frac{L_{T,n}}{(1+r)^T} \right] + \sum_{n=1}^N ROV_n}{\sqrt{DRV_{\alpha,n}^{rel} \cdot \Omega \cdot DRV_{\alpha,n}^{rel\ trans}}}$$

Der ganzheitliche Ansatz des *ERANPV* liefert eine Entscheidungsgrundlage, bei der neben den Erfolgsfaktoren Ertrag und Risiko auch die Flexibilität mitberücksichtigt wird. Basierend auf den Definitionen des *ERANPV* wird in den folgenden Abschnitten auf die Anwendungspotenziale und -grenzen der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung detailliert eingegangen.

6.3. Eignung und Anwendungspotenziale

Die erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung, operationalisiert durch den *ERANPV*, eignet sich zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Projekten bzw. Portefeuilles unter Unsicherheit. Die formale Eignung des *ERANPV* als Performance- und Steuerungskennzahl ergibt sich aus der Tatsache, dass der *ERANPV* die vier Axiome Translationsinvarianz, Subadditivität, positive Homogenität und Monotonie gemäß Artzner et al.²⁸³ vollumfänglich erfüllt. Dabei bezeichnet der *ERANPV* den erweiterten Kapitalwert eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles je Einheit Risikokapital und kann als Maß für die relative Vorteilhaftigkeit eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles interpretiert werden. Ein *ERANPV* größer null signalisiert, dass auf Projekt- bzw. Portefeuilleebene Wert geschaffen wird. Allerdings werden die Projekte bzw. Portefeuilles mit den höchsten nicht-negativen *ERANPV* nicht automatisch realisiert. Diese Entscheidung hängt auch von der unternehmensinternen Festsetzung des Ziel-*ERANPV*, der Höhe des Investitionsbudgets und der Risikotragfähigkeit (Risikolimit) des Unternehmens ab. Die Berechnung des *ERANPV* ermöglicht eine vollständige Ordnung von Projekten bzw. Portefeuilles. Das dem Unternehmen zur Verfügung stehende Investitionsbudget wird unter Berücksichtigung der Rangfolge und stets unter der Maßgabe des Ziel-*ERANPV* sowie der Risikorestriktionen auf die Projekte bzw. Portefeuilles allokiert. Im Gegensatz zum *ERANPV* signalisiert

²⁸³ Vgl. Artzner et al. (1998), S. 6f.; Artzner et al. (1999), S. 208-210.

der absolute *ERANPV* als Differenz von *ERANPV* und Ziel-*ERANPV* unmittelbar die Vorteilhaftigkeit eines Projekts bzw. Portefeuilles.

- Absoluter *ERANPV* - Investitionsprojekt

$$ERANPV_{\alpha,n}^{abs} = ERANPV_{\alpha,n} - Ziel-ERANPV_{\alpha,n}$$

- Absoluter *ERANPV* - Investitionsprojektportefeuille

$$ERANPV_{\alpha,IPP}^{abs} = ERANPV_{\alpha,IPP} - Ziel-ERANPV_{\alpha,IPP}$$

Die Ableitung bzw. Vorgabe von Ziel-/Mindestwerten für den *ERANPV* ist Aufgabe der Unternehmensführung und/oder Projektleitung und orientiert sich an den Rendite- und Risikovorgaben der Eigen- und Fremdkapitalgeber eines Unternehmens.

Der (absolute) *ERANPV* verknüpft die Erfolgsfaktoren Ertrag, Risiko und Flexibilität zu einer Performancekennzahl und trägt dadurch den Bedürfnissen der Entscheider im Hinblick auf Transparenzerhöhung und Komplexitätsreduktion Rechnung. Des Weiteren erhöht sich durch die Integration unternehmerischer Handlungsflexibilität die Relevanz der Kennzahl für die Entscheider und damit deren Aussagekraft im Entscheidungsprozess im Vergleich zum *RANPV* erheblich. Die Annahme normalverteilter Cash Flows gewährleistet die Aggregationsfähigkeit des (absoluten) *ERANPV* auf Portefeuille-, Geschäftsbereichs- und Unternehmensebene und schafft dadurch die Voraussetzungen für eine Implementierung des (absoluten) *ERANPV* als Spitzenkennzahl. Der durch die Informationskomprimierung drohende Informationsverlust wird durch die Einbeziehung der Wechselwirkungen der Flexibilität und Risikodiversifikationseffekte (weitestgehend) vermieden. Infolgedessen wird die Gesamtaussage zur (absoluten) Vorteilhaftigkeit eines Projekts bzw. Portefeuilles nicht verzerrt oder gar verfälscht, so dass die Leistungsfähigkeit der Kennzahl erhalten bleibt. Darüber hinaus erleichtert die Grundstruktur des (absoluten) *ERANPV* die technische Modellumsetzung und erhöht gleichzeitig die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Für die Akzeptanz und nachhaltige Entwicklung des *ERANPV* ist neben dessen Verankerung im Kennzahlensystem eines Unternehmens die Definition und Einhaltung einheitlicher, transparenter Richtlinien

bei der Datenerhebung von entscheidender Bedeutung.²⁸⁴ Im Rahmen der kontinuierlichen Verbesserung der Ergebnisqualität bei der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung empfiehlt es sich, dass die Modellannahmen sukzessive an die unternehmensindividuellen Gegebenheiten angepasst und die Eingangsdaten ständig aktualisiert werden.

6.4. Grenzen und kritische Würdigung

Die erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung dient der Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Planung und Steuerung von Investitionsprojekten bzw. Investitionsprojektportefeuilles unter Unsicherheit. Um dieser Zielsetzung in vollem Umfang gerecht zu werden und damit die Anwendungspotenziale optimal auszuschöpfen, ist es entscheidend sich mit den konzeptionellen Grenzen des Ansatzes kritisch auseinander zu setzen.

Aufgrund des Charakters von Realoptionen als realwirtschaftliche Äquivalente zu Finanzoptionen ist die Anwendung der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung auf Nichtfinanzunternehmen beschränkt. Bei den Cash Flows handelt es sich um Plan-Größen, die im Normalfall auf Experteneinschätzungen beruhen. Die Ableitung der Cash Flows aus historischen Daten erweist sich aufgrund der oftmals unzureichenden Datenmengen und -qualität als schwierig. Infolgedessen ist die Möglichkeit der Datenverifizierung eingeschränkt, was die Gefahr der wissentlichen und unwissentlichen Ergebnisverfälschung erhöht. Dem kann durch die Definition einheitlicher und transparenter Richtlinien zur Datenerhebung sowie eine kontinuierliche Anpassung der Annahmen und Eingangsdaten effektiv entgegen gewirkt werden.

Da die periodenspezifischen Cash Flows überwiegend operativen, nicht am Markt gehandelten Risikofaktoren ausgesetzt sind, ist man auch in diesem Fall auf Expertenbefragungen angewiesen mit dem Risiko einer fehlenden Objektivierung durch den Markt.²⁸⁵ Das Gleiche gilt für die Quantifizierung der Wirkungszusammen-

²⁸⁴ In Anlehnung an Gackstatter et. al (2001), S. 49.

²⁸⁵ In Anlehnung an Hoitsch/Winter (2004), S. 242.

hänge zwischen Risikopositionen und Risikofaktoren sowie die Risikodiversifikationseffekte. Dabei stellt die Identifikation aller relevanten Risikofaktoren einer Risikoposition eine zusätzliche Herausforderung dar, wobei nicht-lineare Beziehungen zwischen Risikoposition und Risikofaktoren lediglich durch eine Linearisierung einbezogen werden können.²⁸⁶ Außerdem ist eine zeitliche Abgrenzung der Risiken und damit verbundene Aufteilung auf die einzelnen Zeitperioden oftmals nur schwer realisierbar, mit der Konsequenz, dass eine gleichmäßige Allokation der Risiken erfolgt. Des Weiteren werden durch die Annahme normalverteilter Cash Flows und die Risikobewertung mittels des Varianz-Kovarianz-Ansatzes, Extremereignisse, die sich durch eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit, aber ein hohes Schadenspotenzial auszeichnen, nicht berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund sollte die Risikobewertung im Rahmen des *ERANPV* durch sog. „Stress-Tests“ ergänzt werden, bei denen die Auswirkungen derartiger Extremereignisse simuliert werden.²⁸⁷

Das Wissen um diese konzeptionellen Grenzen ermöglicht den Entscheidern die richtige Einschätzung bzw. Einordnung der Ergebnisse der erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung. Grundsätzlich empfiehlt sich parallel die isolierte Betrachtung des *NPV*, relativen *DRV* und *RANPV* im Entscheidungsprozess, um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden. Die Aussage des (absoluten) *ERANPV* zur (absoluten) Vorteilhaftigkeit eines Investitionsprojekts bzw. Investitionsprojektportefeuilles kann dadurch kritisch reflektiert werden.

²⁸⁶ Vgl. ebenda, S. 241.

²⁸⁷ Vgl. Biermann (2002), S. 121; Schröder (1999), S. 388.

7. Fallbeispiel: Investitionsprojekt „Offshore-Energiepark“

Im Mittelpunkt des nachfolgenden Fallbeispiels steht das Investitionsprojekt „Offshore-Energiepark“ (*OEP*). Anhand dieses Beispiels soll der praktische Anwendungsbezug der zuvor gewonnenen Erkenntnisse zur erweiterten, risikoadjustierten Investitionsbewertung veranschaulicht werden. Im Zuge der Ermittlung der (integrierten) Steuerungskennzahlen werden realitätsnahe Annahmen getroffen, um deren Aussagekraft zu erhöhen. Als fiktives Unternehmen dient ein irischer Energiekonzern mit Sitz der Muttergesellschaft in Dublin, dessen Vorstand über das weitere Vorgehen im Rahmen des Investitionsprojekts *OEP* des Geschäftsbereichs „Erneuerbare Energien“ zu befinden hat. Die Struktur der Fallstudie sieht vor, dass die Investitionsprojektbeschreibung und -bewertung durch eine vergleichende Analyse der Steuerungskennzahlen und Interpretation der Gesamtergebnisse sowie eine Handlungsempfehlung an den Vorstand ergänzt werden.

7.1. Investitionsprojektbeschreibung

Das Gesamtinvestitionsprojekt *OEP* umfasst zwei Projektphasen, wobei jede Phase ein eigenständiges Investitionsprojekt darstellt. Infolgedessen tragen diese Teilprojekte die Bezeichnungen „Offshore-Energiepark Phase I“ (*OEP I*) und „Offshore-Energiepark Phase II“ (*OEP II*). *OEP I* erstreckte sich über einen Investitionsprojektzeitraum von drei Jahren (01.10.2006 bis 30.09.2009). Zu Projektbeginn von *OEP I* entschied sich das Unternehmen für Wind, Wellen und Meeresströmungen als mögliche Energieträger des Offshore-Energieparks. Im Zuge dieses Auswahlprozesses erfolgte auch die Festlegung der energieträgerbezogenen Anlagentechnologien. Bei Wind als Energieträger fiel die Wahl auf die *V112-3.0MW Offshore*-Anlagentechnologie der Firma Vestas Wind Systems A/S (Dänemark). Im Fall von Wellen als Energieträger erhielt die Anlagentechnologie *PB150 PowerBuoy* der Firma Ocean Power Technologies Inc. (USA) den Vorzug. Zur Nutzung von Meeresströmungen als Energieträger wurde die Entscheidung zugunsten der Anlagentechnologie *SeaGen* des Herstellers Marine Current Turbines Ltd. (Großbritannien) getroffen. Diese drei Anlagentechnologien zeichneten sich im Vergleich zu anderen Technologien des jeweiligen Energieträgers zum einen durch die höchsten Kapitalwerte und zum anderen durch ihre Marktreife sowie Zuverlässigkeit aus. Vor dem

Hintergrund der Entscheidung für die Energieträger und Anlagentechnologien wurden in drei zur Disposition stehenden Offshore-Gebieten standardisierte Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsstudien durchgeführt. Die Auswertung der über einen Zeitraum von sechs Monaten gesammelten Daten ergab, dass eines der Offshore-Testgebiete vor der Westküste Schottlands für alle Energieträger bzw. Anlagentechnologien die mit Abstand besten Studienergebnisse aufwies.²⁸⁸ Nach dem erfolgreichen Abschluss des Genehmigungsverfahrens schloss das Unternehmen einen Vorvertrag mit der schottischen Regierung zum Erwerb dieses 25 Quadratkilometer umfassenden Gebiets, das über eine direkte Anbindung an das lokale Stromversorgungsnetz verfügt.²⁸⁹ Der Vorvertrag sichert dem Unternehmen die alleinigen Besitz- und Nutzungsrechte einschließlich der Befugnis zur Energiegewinnung mittels erneuerbarer Energien in diesem Gebiet bis 31.12.2060 zu.

Nach der erfolgreichen Durchführung des Investitionsprojekts *OEP I* hat der Vorstand jetzt drei Monate Zeit (01.10.2009 bis 31.12.2009), um zu einer Entscheidung über die weitere Vorgehensweise zu gelangen. In diesem Zeitfenster obliegt dem Projektteam des Investitionsprojekts *OEP II* die Aufgabe, die bereits durchgeführte Kapitalwertermittlung durch Risiko- und Flexibilitätsbewertungen der drei in Frage kommenden Anlagentechnologien zu ergänzen. Das Ziel dieser Bewertungen liegt in der Ermittlung der Spitzenkennzahl *ERANPV* je Anlagentechnologie und der daraus abgeleiteten Investitionsprojektrangfolge. Durch die Erweiterung des *NPV* um eine Risiko- und Flexibilitätsdimension soll die Investitionsprojektsentscheidung auf eine umfassende Grundlage gestellt werden.

Gemäß den Planungsprämissen umfasst *OEP II* einen Investitionsprojektzeitraum von 25 Jahren (01.01.2010 bis 31.12.2034), wobei die Projektplanung das gesamte erste Projektjahr (01.01.2010 bis 31.12.2010) in Anspruch nimmt. Daran schließt sich die vierjährige Bauphase (01.01.2011 bis 31.12.2014) an, während derer die Infrastruktur errichtet wird, und die Montage sowie Errichtung der Anlagen erfolgt. Nach Abschluss der Planungs- und Bauphase werden die Anlagen zu Beginn des sechsten Projektjahres (01.01.2015) in Betrieb genommen. Die Nutzungsdauer des

²⁸⁸ Vgl. Fraenkel (2004), S. 1.

²⁸⁹ Vgl. Meyer (2004), S. 3.

Offshore-Energieparks beträgt demzufolge 20 Jahre ²⁹⁰ (01.01.2015 bis 31.12.2034). Aufgrund der Festlegung des Offshore-Gebiets und der vergleichbaren technischen Voraussetzungen seien sowohl der Investitionsprojektzeitraum als auch die Dauer der einzelnen Investitionsprojektphasen (Planungs-, Bau- und Betriebsphase) für alle Anlagentechnologien identisch. Das Investitionsbudget für *OEP II* ist von der Unternehmensleitung auf 120,00 Mio. € begrenzt.

7.2. Anlagentechnologiebeschreibungen

Die Beschreibungen der Wind- (*V112-3.0MW Offshore*), Wellen- (*PB150 Power-Buoy*) und Meeresströmungsenergieanlagen (*SeaGen*) beinhalten neben den technischen Spezifikationen auch Abbildungen der jeweiligen Einzel- und Energieparkinstallationen. Aus diesen Abbildungen werden die Funktionsweise und technische Komplexität der Anlagentechnologien ersichtlich. Allen Anlagentechnologien ist gemein, dass sie mit Hilfe des Induktionsverfahrens, d.h. unter Verwendung magnetischer Spulen, kinetische Energie in elektrische Energie umwandeln.

7.2.1. Anlagentechnologiebeschreibung V112-3.0MW Offshore

Die zu bewertende Windenergieanlage *V112-3.0MW Offshore* besitzt ab einer Windgeschwindigkeit von 12,00m/s eine Nennleistung von 3,00MW und wandelt kinetische Energie in Form von Windenergie in elektrische Energie um.²⁹¹ Mit einer Rotorblattlänge von 54,65m beschreiben die drei Rotorblätter der Anlagenturbine eine Rotorfläche von 9852,00m², wobei die Anlagenhöhe je nach Einsatzgebiet variiert. Die Einzel- und Windenergieparkinstallation der *V112-3.0MW Offshore*-Anlagentechnologie wird in Abb. 7-1 veranschaulicht.

²⁹⁰ Vgl. Gruber (2009), S. 40.

²⁹¹ Vgl. dazu und im Folgenden Vestas Wind Systems A/S (o. J.), S. 14f.

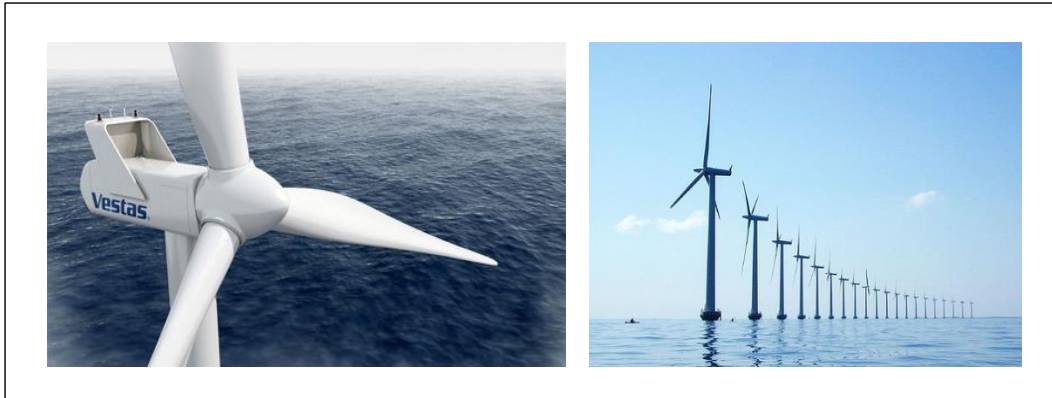


Abb. 7-1: Einzel- und Windenergieparkinstallation der *V112-3.0MW Offshore*-Anlagentechnologie.

Quelle: Eigene Darstellung.²⁹²

7.2.2. Anlagentechnologiebeschreibung PB150 PowerBuoy

Die *PB150 PowerBuoy*-Anlagentechnologie konvertiert die kinetische Energie von Wellen in elektrische Energie.²⁹³ Bei den Anlagen handelt es sich um Spezialbojen mit einer Gesamthöhe von 43,98m und einer Nennleistung von 0,15MW. Die Energiegewinnung erfolgt bei Wellenhöhen von 1,50m bis 7,00m. Im Vergleich zu der *V112-3.0MW Offshore*- und *SeaGen*-Anlagentechnologie weist diese Technologie einen etwas geringeren durchschnittlichen Kapazitätsfaktor (*KF*) auf, der das Verhältnis zwischen der Effektivleistung und der Nennleistung einer Anlagentechnologie angibt und daher auch als Wirkungsgrad bezeichnet werden kann. In der nachfolgenden Darstellung werden die Einzel- und Wellenenergieparkinstallation der *PB150 PowerBuoy*-Anlagentechnologie gezeigt.

²⁹² Das ursprüngliche Bildmaterial für die Darstellung stammt aus folgenden Quellen:
http://www.vestas.com/files/billeder/Photos/Offshore/artikelstorV112_offshore2.jpg und
<http://scitizen.com/cacheDirectory/HTMLcontributions/img/offshore.jpg>

²⁹³ Vgl. dazu und im Folgenden Ocean Power Technologies Inc. (2011), S. 11.

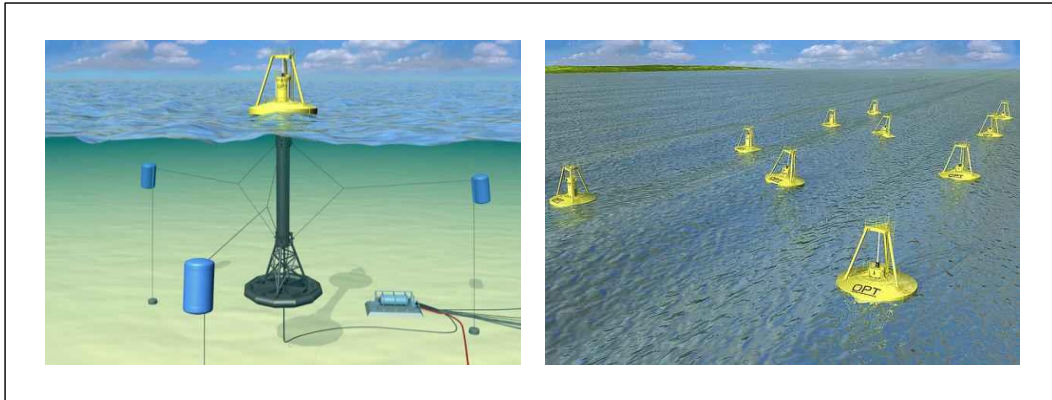


Abb. 7-2: Einzel- und Wellenenergieparkinstallation der *PB150 PowerBuoy*-Anlagentechnologie.

Quelle: Eigene Darstellung.²⁹⁴

7.2.3. Anlagentechnologiebeschreibung SeaGen

An die Stelle von Wind als Energieträger treten bei der *SeaGen*-Anlagentechnologie Meeresströmungen, weshalb diese Anlagen auch als „Unterwasserwindräder“ bezeichnet werden.²⁹⁵ *SeaGen* ermöglicht die Konvertierung von kinetischer Energie in Form von kontinuierlichen (Meerengen) und wiederkehrenden Meeresströmungen (Gezeiten) in elektrische Energie.²⁹⁶ Aufgrund der ähnlichen Funktionsweise ist die *SeaGen*-Anlagentechnologie der von (Offshore)-Windenergieanlagen nachempfunden. Im Vergleich zu Luft ist die Energiedichte von Wasser um ein Vielfaches höher, was dazu führt, dass je Quadratmeter Rotorfläche bis zu viermal mehr Energie gewonnen werden kann.²⁹⁷ Infolgedessen sind die Abmessungen einer *SeaGen*-Anlage im Vergleich zu einer *V112-3.0MW Offshore*-Anlage deutlich geringer. Die Energieerzeugung erfolgt über zwei Turbinen mit jeweils zwei Rotorblättern, die bei einer Rotorblattlänge von jeweils 8,00m eine Rotorfläche von 201,06m² beschreiben.²⁹⁸ *SeaGen*-Anlagen besitzen eine Nennleistung von 1,20MW bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,40m/s, was einer Nennleistung

²⁹⁴ Das ursprüngliche Bildmaterial für die Darstellung stammt aus folgenden Quellen:
http://www.rechargenews.com/multimedia/archive/00033/OPTpowerbuoy_33717b.jpg und
<http://www.oceanpowertechnologies.com/global.htm>

²⁹⁵ Vgl. Fraenkel (2004), S. 5.

²⁹⁶ Vgl. Meyer (2004), S. 2; Gruber (2009), S. 40.

²⁹⁷ Vgl. Gruber (2009), S. 40; Fraenkel (2004), S. 3.

²⁹⁸ Vgl. Marine Current Turbines Ltd. (o. J.), S. 1.

von 0,60MW je Anlagenturbine entspricht. Ihre Drehzahl beträgt zehn bis 15 Umdrehungen pro Minute.²⁹⁹ Mit einer Gesamthöhe von 40,70m ab Meeresgrund eignet sich diese Technologie insbesondere für den Einsatz in Küstennähe. Die nachfolgende Abb. 7-3 zeigt das Design und die Funktionsweise der *SeaGen*-Anlagentechnologie sowie die Konzeption des entsprechenden Offshore-Energieparks.

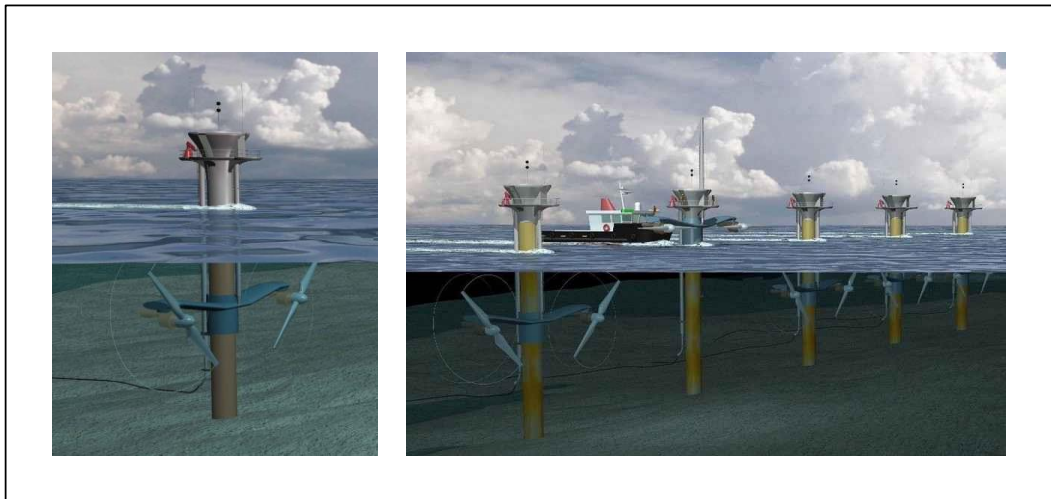


Abb. 7-3: Einzel- und Meeresströmungsenergieparkinstallation der *SeaGen*-Anlagentechnologie.

Quelle: Eigene Darstellung.³⁰⁰

7.3. Investitionsprojektbewertung

Die Investitionsprojektbewertung der drei Anlagentechnologien gliedert sich in jeweils drei Teilbereiche, die Kapitalwert-, Realloptionswert- und Risikowertbestimmung.³⁰¹ Im Zuge der Kapitalwertbestimmung wird zunächst der Kapitalwert je Anlagentechnologie ermittelt. Die anschließende Realloptionswertbestimmung konzentriert sich auf die Berechnung der anlagentechnologiespezifischen Realopti-

²⁹⁹ Vgl. Hardisty (2009), S. 98.

³⁰⁰ Das ursprüngliche Bildmaterial für die Darstellung stammt aus folgenden Quellen:
http://thefraserdomain.typepad.com/photos/uncategorized/2007/06/26/mct_seagen_pile_mounted_twin_roto_2.jpg und
http://assets.knowledge.allianz.com/img/seagen_grafik_funktion_q_35545.jpg

³⁰¹ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand der Arbeitsblätter „Fallbeispiel Offshore-Wind“, „Fallbeispiel Wellen“ und „Fallbeispiel Meeresströmungen“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

onswerte und ermöglicht somit den Ausweis des erweiterten Kapitalwerts je Anlagentechnologie. Die Investitionsprojektbewertung wird durch die Bestimmung des *DRV* und des darauf basierenden erweiterten, risikoadjustierten Kapitalwerts je Anlagentechnologie komplettiert.

7.3.1. Kapitalwertbestimmung

Die Kapitalwertbestimmung der Anlagentechnologien im Rahmen des Investitionsprojekts *OEP II* basiert auf den Ergebnissen des Investitionsprojekts *OEP I*. Während die Kapitalwertbestimmung bei *OEP I* zum Ziel hatte, die Entscheidungsgrundlage für die Vorauswahl der Anlagentechnologien und des Standorts zu schaffen, geht es im Rahmen von *OEP II* um die Entscheidung für die beste der ausgewählten Anlagentechnologien. Aufgrund der Zeitspanne zwischen erster und zweiter Kapitalwertbestimmung ist eine teilweise Anpassung der ursprünglichen Annahmen notwendig, um zu gewährleisten, dass die aktualisierten Kapitalwerte den verbesserten Informationsstand zum Zeitpunkt der Neuberechnung widerspiegeln. Beispielsweise kann der bis dato angesetzte Schätzwert für die Anfangsinvestition von *OEP II* nach Abschluss von *OEP I* exakt ausgewiesen werden, da dieser den Gesamtinvestitionsprojektkosten von *OEP I* entspricht. Aufgrund dessen, dass die im Zusammenhang mit *OEP I* getätigten Ausgaben als Vorleistungen für *OEP II* interpretiert werden, findet die vollständige Weiterfakturierung dieser Kosten in Höhe von 10,00 Mio. € statt. Dabei ist zu beachten, dass die Anfangsinvestition unabhängig von der zu bewertenden Anlagentechnologie ist und somit in die Berechnung aller drei Kapitalwerte einfließt.

Laut Vorgabe des Vorstands beträgt die zu installierende Gesamtnennleistung (*GNL*) des Offshore-Energieparks einheitlich für alle Energieträger 24,00MW.³⁰²

- Gesamtnennleistung - Offshore-Windenergiepark (*OWIEP*)
 $GNL_{OWIEP} = 24,00MW$
- Gesamtnennleistung - Wellenenergiepark (*WEEP*)
 $GNL_{WEEP} = 24,00MW$
- Gesamtnennleistung - Meeresströmungsenergiepark (*MSEP*)

³⁰² Vgl. Gruber (2009), S. 40.

$$GNL_{MSEP} = 24,00MW$$

Die Nennleistungen der Anlagentechnologien betragen gemäß Herstellerangaben 3,00MW je *V112-3.0MW Offshore*-Einheit, 0,15MW je *PB150 PowerBuoy*-Einheit und 1,20MW je *SeaGen*-Einheit. Im Resultat müssten acht *V112-3.0MW Offshore*-Einheiten, 160 *PB150 PowerBuoy*-Einheiten bzw. 20 *SeaGen*-Einheiten errichtet werden, um eine Gesamtnennleistung von 24,00MW zu erzeugen.

Auf der Grundlage dieser Daten werden im Rahmen der Kapitalwertbestimmung zunächst die anlagentechnologiespezifischen Absatzmengen ermittelt. Die betrachteten Anlagentechnologien sind allesamt für den Dauerbetrieb konzipiert, d.h. die jährliche Betriebsstundenzahl (*BSZ*) beläuft sich auf 8.760,00h.

- Betriebsstundenzahl - Offshore-Wind

$$BSZ_{t,OWIEP} = 365,00Tage \cdot 24,00h/Tag = \mathbf{8.760,00h}$$

- Betriebsstundenzahl - Wellen

$$BSZ_{t,WEEP} = \mathbf{8.760,00h}$$

- Betriebsstundenzahl - Meeresströmungen

$$BSZ_{t,MSEP} = \mathbf{8.760,00h}$$

Die jährliche Gesamtnennleistung je Anlagentechnologie ist das Produkt der jährlichen Betriebsstundenzahl und der installierten Gesamtnennleistung und liegt während der gesamten Nutzungsdauer konstant bei 210.240,00MWh.

- Jährliche Gesamtnennleistung - allgemein

$$GNL_t = GNL \cdot BSZ_t$$

- Jährliche Gesamtnennleistung - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} GNL_{t,OWIEP} &= GNL_{OWIEP} \cdot BSZ_{t,OWIEP} = \\ &= 24,00MW \cdot 8.760,00h = \mathbf{210.240,00MWh} \end{aligned}$$

- Jährliche Gesamtnennleistung - Wellen

$$GNL_{t,WEEP} = \mathbf{210.240,00MWh}$$

- Jährliche Gesamtnennleistung - Meeresströmungen

$$GNL_{t,MSEP} = \mathbf{210.240,00MWh}$$

Durch die Multiplikation der jährlichen Gesamtnennleistung mit dem Kapazitätsfaktor erhält man die erwartete, tatsächliche Gesamtleistung (*GL*) des Offshore-

Energieparks. Der Kapazitätsfaktor beschreibt den realen Wirkungsgrad einer Anlagentechnologie am Standort eines Energieparks. Im Rahmen dieses Fallbeispiels werden die jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Erwartungswerte der Kapazitätsfaktoren als über die Nutzungsdauer konstant und normalverteilt definiert. Dabei gelten folgende Werte für die Kapazitätsfaktoren der drei Anlagentechnologien:

- Kapazitätsfaktor - Offshore-Wind

$$\mu_{t,OWIEP}^{KF} = 0,35$$

- Kapazitätsfaktor - Wellen

$$\mu_{t,WEEP}^{KF} = 0,30$$

- Kapazitätsfaktor - Meeresströmungen

$$\mu_{t,MSEP}^{KF} = 0,35$$

Beim Vergleich dieser Kapazitätsfaktoren wird deutlich, dass die auf Offshore-Wind und Meeresströmungen basierenden Anlagentechnologien einen höheren realen Wirkungsgrad aufweisen als die auf Wellenenergie beruhende Anlagentechnologie. Der Grund dafür liegt in der geringeren durchschnittlichen Energieverfügbarkeit von Wellenenergie verglichen mit Offshore-Wind- und Meeresströmungsenergie. Auf der Grundlage der jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Gesamtnennleistungen und der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Kapazitätsfaktoren ergeben sich für die über die Nutzungsdauer ebenfalls konstanten, erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Gesamtleistungen nachfolgende Werte:

- Gesamtleistung - allgemein

$$\mu_t^{GL} = GNL_t \cdot \mu_t^{KF}$$

- Gesamtleistung - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} \mu_{t,OWIEP}^{GL} &= GNL_{t,OWIEP} \cdot \mu_{t,OWIEP}^{KF} = \\ &= 210.240,00MWh \cdot 0,35 = \mathbf{73.584,00MWh} \end{aligned}$$

- Gesamtleistung - Wellen

$$\mu_{t,WEEP}^{GL} = \mathbf{63.072,00MWh}$$

- Gesamtleistung - Meeresströmungen

$$\mu_{t,MSEP}^{GL} = \mathbf{73.584,00MWh}$$

Die erwartete, jährliche Gesamtleistung je Anlagentechnologie entspricht definitionsgemäß der jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Absatzmenge, da stets die gesamte erzeugte Energiemenge ins Stromnetz eingespeist wird. Dadurch werden implizit jegliche Energieverluste ebenso ausgeschlossen wie die Möglichkeit einer jahresübergreifenden Energiezwischenlagerung.

Neben der Absatzmenge stellt der Absatzpreis (*AP*) die zweite Determinante zur Berechnung der Investitionsprojekteinzahlungen (*IPEZ*) dar. Als konstanter Grundpreis dient der auf der Grundlage der Tagesschlusskurse für Baseload-Strom (*BLS*) an der European Energy Exchange (*EEX*) im Zeitraum von 01.10.2007 bis 30.09.2010 ermittelte Erwartungswert in Höhe von 50,25 €/MWh.³⁰³ Darüber hinaus stellt die schottische Regierung zur Förderung und Weiterentwicklung regenerativer Energien Subventionszuschüsse (*SZ*) in Abhängigkeit vom Energieträger bereit. Die Höhe des Subventionszuschusses richtet sich nach dem geschätzten Gesamtenergiepotenzial des Energieträgers in Schottland und der Marktreife der Anlagentechnologie. Für die Energieträger und korrespondierenden Anlagentechnologien gelten demnach folgende staatliche Subventionszuschüsse während der gesamten Nutzungsdauer des Offshore-Energieparks:

- Subventionszuschuss - Offshore-Wind

$$SZ_{t,OWIEP} = 90,00\text{€/MWh}$$

- Subventionszuschuss - Wellen

$$SZ_{t,WEEP} = 155,00\text{€/MWh}$$

- Subventionszuschuss - Meeresströmungen

$$SZ_{t,MSEP} = 137,50\text{€/MWh}$$

Indem der Grundpreis um diese Subventionszuschüsse erweitert wird, erhält man die erwarteten, jährlichen, energieträgerabhängigen und damit anlagentechnologiespezifischen Absatzpreise.

- Absatzpreis - allgemein

$$\mu_t^{AP} = \mu_t^{BLS} + SZ_t$$

³⁰³ Die Berechnungen hierzu können anhand des Arbeitsblatts „Fallbeispiel Gesamtergebnisse“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

- Absatzpreis - Offshore-Wind

$$\begin{aligned}\mu_{t,OWIEP}^{AP} &= \mu_t^{BLS} + SZ_{t,OWIEP} = \\ &= 50,25 \text{ €/MWh} + 90,00 \text{ €/MWh} = \mathbf{140,25 \text{ €/MWh}}\end{aligned}$$

- Absatzpreis - Wellen

$$\mu_{t,WEEP}^{AP} = \mathbf{205,25 \text{ €/MWh}}$$

- Absatzpreis - Meeresströmungen

$$\mu_{t,MSEP}^{AP} = \mathbf{187,75 \text{ €/MWh}}$$

Aufgrund der im Investitionsprojektverlauf konstanten, staatlichen Subventionszuschüsse und des konstanten Grundpreises gelten die ermittelten Absatzpreise für die gesamte Betriebsphase des Investitionsprojekts. Annahmegemäß folgt der Grundpreis der Normalverteilung, was zur Folge hat, dass die Absatzpreise ebenfalls normalverteilt sind.

Die multiplikative Verknüpfung der Absatzmenge in Form der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Gesamtleistung und des erwarteten, jährlichen Absatzpreises je Anlagentechnologie ergibt die erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojekteinzahlungen.

- Investitionsprojekteinzahlungen - allgemein

$$\mu_t^{IPEZ} = \mu_t^{GL} \cdot \mu_t^{AP}$$

- Investitionsprojekteinzahlungen - Offshore-Wind

$$\begin{aligned}\mu_{t,OWIEP}^{IPEZ} &= \mu_{t,OWIEP}^{GL} \cdot \mu_{t,OWIEP}^{AP} = \\ &= 73.584,00 \text{ MWh} \cdot 140,25 \text{ €/MWh} = \mathbf{10,32 \text{ Mio. €}}\end{aligned}$$

- Investitionsprojekteinzahlungen - Wellen

$$\mu_{t,WEEP}^{IPEZ} = \mathbf{12,95 \text{ Mio. €}}$$

- Investitionsprojekteinzahlungen - Meeresströmungen

$$\mu_{t,MSEP}^{IPEZ} = \mathbf{13,82 \text{ Mio. €}}$$

Die Konstanz der Investitionsprojekteinzahlungen während der Nutzungsdauer ist auf die annahmegemäß konstanten Absatzmengen und Absatzpreise zurückzuführen.

Im Anschluss an die Berechnung der Investitionsprojekteinzahlungen werden auf der Basis der Investitionsprojektkostenschätzungen die Investitionsprojektauszahlungen (*IPAZ*) ermittelt. Die Klassifizierung der Kosten nach Planungs-, Bau- und Betriebskosten hängt von deren Allokation zu den korrespondierenden Investitionsprojektphasen ab. Die Höhe der Gesamtinvestitionsprojektkosten und deren Aufteilung auf die Investitionsprojektphasen mittels einer prozentualen Kostenschlüsselung gehen auf eine Vergleichsstudie von Ernst & Young LLP³⁰⁴ zurück. Nachfolgend werden die für dieses Fallbeispiel relevanten Studienergebnisse tabellarisch dargestellt.

	Offshore-Wind		Wellen		Meeresströmungen	
	[Mio. £/MW]	%	[Mio. £/MW]	%	[Mio. £/MW]	%
Kosten der Planungsphase	0,03	2,00	0,27	10,00	0,15	5,00
Infrastrukturkosten der Bauphase	0,74	46,00	1,10	40,00	1,18	40,00
Anlagenbaukosten der Bauphase	0,84	52,00	1,36	50,00	1,62	55,00
Gesamtkosten	1,61	100,00	2,73	100,00	2,95	100,00

Tab. 7-1: Investitionsprojektkosten der Planungs- und Bauphase.

Quelle: In Anlehnung an Ernst & Young LLP (2007), S. 13, S. 39 und S. 41.

Die zugrunde gelegten Investitionsprojektkosten stellen Normalkosten dar. Die Umrechnung von £ in € erfolgt einheitlich zum Wechselkurs (*WK*) von 1,47€/£, d.h. ein £ entspricht 1,47€. ³⁰⁵ Bei diesem Wechselkurs handelt es sich um den erwarteten Wechselkurs auf Tagesbasis der beiden Währungen. Als Erhebungszeitraum für die Wechselkursberechnung dient der Veröffentlichungsmonat der Studienergebnisse (04/2007). Unter Verwendung der Studienergebnisse, des erwarteten Wechselkurses sowie der installierten Gesamtnennleistung und der Dauer der

³⁰⁴ Vgl. Ernst & Young LLP (2007), S. 1-58.

³⁰⁵ Die Berechnungen hierzu können anhand des Arbeitsblatts „Fallbeispiel Gesamtergebnisse“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

einzelnen Investitionsprojektphasen lassen sich die erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektauszahlungen berechnen. Für die Planungsphase (*PLP*), die das Kalenderjahr 2010 vollständig umfasst, ergeben sich folgende Investitionsprojektauszahlungen:

- Investitionsprojektauszahlungen - Planungsphase - Offshore-Wind

$$\begin{aligned}\mu_{t,PLP,OWIEP}^{IPAZ} &= \mu_{2010,PLP,OWIEP}^{IPAZ} = \\ &= 0,02 \cdot 1,61 \text{ Mio. } \text{€}/\text{MW} \cdot \mu^{WK} \cdot GNL_{OWIEP} = \\ &= 0,02 \cdot 1,61 \text{ Mio. } \text{€}/\text{MW} \cdot 1,47 \text{ €}/\text{€} \cdot 24,00\text{MW} = \mathbf{1,14 \text{ Mio. } \text{€}}\end{aligned}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Planungsphase - Wellen

$$\mu_{t,PLP,WEEP}^{IPAZ} = \mu_{2010,PLP,WEEP}^{IPAZ} = \mathbf{9,62 \text{ Mio. } \text{€}}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Planungsphase - Meeresströmungen

$$\mu_{t,PLP,MSEP}^{IPAZ} = \mu_{2010,PLP,MSEP}^{IPAZ} = \mathbf{5,21 \text{ Mio. } \text{€}}$$

An die Planungsphase schließt sich unmittelbar die vierjährige Bauphase (*BAP*) an, während der sowohl die Infrastruktur (*BAP I*) als auch die Anlagen (*BAP II*) errichtet werden. Gemäß der studienbasierten Kostenallokation entfallen 46,00% der Gesamtinvestitionskosten des Offshore-Windenergieparks auf den Bau der Infrastruktur. Im Fall der Wellen- und Meeresströmungsenergieparks liegt dieser Anteil bei 40,00%. Der Restanteil an den Gesamtinvestitionskosten in Höhe von 52,00% beim Offshore-Windenergiepark, 50,00% beim Wellenenergiepark und 55,00% beim Meeresströmungsenergiepark wird für den Anlagenbau verwendet. Die Berechnung der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektauszahlungen während der Bauphase erfolgt beispielhaft für das erste Jahr der Bauphase (2011). Dabei verteilen sich die Infrastruktur- und Anlagenbaukosten annahmegemäß gleichmäßig über die vierjährige Bauphase.

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase - Infrastruktur - Offshore-Wind

$$\begin{aligned}\mu_{t,BAP I,OWIEP}^{IPAZ} &= \mu_{2011,BAP I,OWIEP}^{IPAZ} = \\ &= 0,25 \cdot 0,46 \cdot 1,61 \text{ Mio. } \text{€}/\text{MW} \cdot \mu^{WK} \cdot GNL_{OWIEP} = \\ &= 0,25 \cdot 0,46 \cdot 1,61 \text{ Mio. } \text{€}/\text{MW} \cdot 1,47 \text{ €}/\text{€} \cdot 24,00\text{MW} =\end{aligned}$$

$$= 6,55 \text{ Mio. €}^{306}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase - Infrastruktur - Wellen

$$\mu_{t,BAP I,WEEP}^{IPAZ} = \mu_{2011,BAP I,WEEP}^{IPAZ} = 9,62 \text{ Mio. €}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase - Infrastruktur - Meeresströmungen

$$\mu_{t,BAP I,MSEP}^{IPAZ} = \mu_{2011,BAP I,MSEP}^{IPAZ} = 10,42 \text{ Mio. €}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase - Anlagenbau - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} \mu_{t,BAP II,OWIEP}^{IPAZ} &= \mu_{2011,BAP II,OWIEP}^{IPAZ} = \\ &= 0,25 \cdot 0,52 \cdot 1,61 \text{ Mio. €} / \text{MW} \cdot \mu^{WK} \cdot GN_{LOWIEP} = \\ &= 0,25 \cdot 0,52 \cdot 1,61 \text{ Mio. €} / \text{MW} \cdot 1,47 \text{ €} / \text{€} \cdot 24,00 \text{ MW} = \\ &= 7,41 \text{ Mio. €}^{307} \end{aligned}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase - Anlagenbau - Wellen

$$\mu_{t,BAP II,WEEP}^{IPAZ} = \mu_{2011,BAP II,WEEP}^{IPAZ} = 12,03 \text{ Mio. €}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase - Anlagenbau - Meeresströmungen

$$\mu_{t,BAP II,MSEP}^{IPAZ} = \mu_{2011,BAP II,MSEP}^{IPAZ} = 14,33 \text{ Mio. €}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase gesamt - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} \mu_{t,BAP,OWIEP}^{IPAZ} &= \mu_{t,BAP I,OWIEP}^{IPAZ} + \mu_{t,BAP II,OWIEP}^{IPAZ} \\ \mu_{2011,BAP,OWIEP}^{IPAZ} &= \mu_{2011,BAP I,OWIEP}^{IPAZ} + \mu_{2011,BAP II,OWIEP}^{IPAZ} = \\ &= 6,55 \text{ Mio. €} + 7,41 \text{ Mio. €} = 13,96 \text{ Mio. €} \end{aligned}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase gesamt - Wellen

$$\mu_{t,BAP,WEEP}^{IPAZ} = \mu_{2011,BAP,WEEP}^{IPAZ} = 21,65 \text{ Mio. €}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Bauphase gesamt - Meeresströmungen

$$\mu_{t,BAP,MSEP}^{IPAZ} = \mu_{2011,BAP,MSEP}^{IPAZ} = 24,75 \text{ Mio. €}$$

³⁰⁶ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

³⁰⁷ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

Während der Nutzungsdauer des Offshore-Energieparks fallen jährliche Betriebskosten für den Betrieb und die Wartung der Anlagen an. Die im Rahmen dieses Fallbeispiels verwendeten, ebenfalls studienbasierten Schätzwerte werden in der Tab. 7-2 zusammengefasst. Aus Vereinfachungsgründen werden die jährlichen Betriebskosten aus 2015, des ersten Jahres der Betriebsphase (*BEP*), als Referenzkosten für die gesamte Nutzungsdauer verwendet. Im Laufe der Betriebsphase erzielte Lerneffekte und umgesetzte Optimierungsmaßnahmen, die zu sinkenden Betriebskosten im Zeitverlauf führen könnten, werden somit bewusst ausgeblendet.

	Offshore-Wind	Wellen	Meeresströmungen
Kosten der Betriebsphase [€/MW/Jahr]	70.000,00	59.000,00	53.000,00

Tab. 7-2: Investitionsprojektkosten der Betriebsphase.

Quelle: In Anlehnung an Ernst & Young LLP (2007), S. 14, S. 40 und S. 42.

Die Berechnung der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektauszahlungen der Betriebsphase wird, stellvertretend für die gesamte Nutzungsdauer, am Beispiel der Auszahlungen des ersten Jahres dieser Projektphase (2015) erläutert.

- Investitionsprojektauszahlungen - Betriebsphase - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} \mu_{t,BEP,OWIEP}^{IPAZ} &= \mu_{2015,BEP,OWIEP}^{IPAZ} = \\ &= 70.000,00\text{€/MW} \cdot \mu^{WK} \cdot GN_{LOWIEP} = \\ &= 70.000,00\text{€/MW} \cdot 1,47 \text{ €/€} \cdot 24,00\text{MW} = \mathbf{2,47 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Betriebsphase - Wellen

$$\mu_{t,BEP,WEEP}^{IPAZ} = \mu_{2015,BEP,WEEP}^{IPAZ} = \mathbf{2,08 \text{ Mio. €}}$$

- Investitionsprojektauszahlungen - Betriebsphase - Meeresströmungen

$$\mu_{t,BEP,MSEP}^{IPAZ} = \mu_{2015,BEP,MSEP}^{IPAZ} = \mathbf{1,87 \text{ Mio. €}}$$

Unter Verwendung der Investitionsprojekteinzahlungen und -auszahlungen werden die zur Kapitalwertberechnung notwendigen Investitionsprojektüberschüsse (*IPÜS*) ermittelt. Bei den erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen

Investitionsprojektüberschüssen handelt es sich um die Differenz der (kumulierten), erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojekteinzahlungen und -auszahlungen. Die Berechnung dieser Investitionsprojektüberschüsse wird für das Jahr 2015 nachfolgend konkretisiert.

- Investitionsprojektüberschüsse - allgemein

$$\mu_t^{IPÜS} = \sum \mu_t^{IPEZ} - \sum \mu_t^{IPAZ}$$

- Investitionsprojektüberschüsse - Offshore-Wind

$$\mu_{t,OWIEP}^{IPÜS} = \sum \mu_{t,OWIEP}^{IPEZ} - \sum \mu_{t,OWIEP}^{IPAZ}$$

$$\begin{aligned} \mu_{2015,OWIEP}^{IPÜS} &= \sum \mu_{2015,OWIEP}^{IPEZ} - \sum \mu_{2015,OWIEP}^{IPAZ} = \\ &= 10,32 \text{ Mio. €} - 2,47 \text{ Mio. €} = \mathbf{7,85 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

- Investitionsprojektüberschüsse - Wellen

$$\mu_{t,WEEP}^{IPÜS} = \mu_{2015,WEEP}^{IPÜS} = \mathbf{10,86 \text{ Mio. €}}$$

- Investitionsprojektüberschüsse - Meeresströmungen

$$\mu_{t,MSEP}^{IPÜS} = \mu_{2015,MSEP}^{IPÜS} = \mathbf{11,94 \text{ Mio. €}}$$

Die durch den anlagentechnologiespezifischen Kapitalwert zum Zeitpunkt t_0 quantifizierte Erfolgsdimension des Investitionsprojekts *OEP II* ergibt sich aus der Summe der diskontierten, erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektüberschüsse abzüglich der Anfangsinvestition in Höhe von 10,00 Mio. €. Dabei wird vereinfachend unterstellt, dass die Investitionsprojekteinzahlungen und -auszahlungen vollständig am Ende jeder Zeitperiode anfallen. Zur Diskontierung der Investitionsprojektüberschüsse wird, wie in den vorangegangenen Kapiteln, der risikolose Zinssatz von 5,00% verwendet.

- Kapitalwert - allgemein

$$NPV = -A_0 + \sum_{t=0}^T \frac{\mu_t^{IPÜS}}{(1 + r_f)^{1+t-t_0}}$$

- Kapitalwert - Offshore-Wind

$$NPV_{OWIEP} = -A_0 + \sum_{t=0}^T \frac{\mu_{t,OWIEP}^{IPÜS}}{(1 + r_f)^{1+t-t_0}} = \mathbf{18,41 \text{ Mio. €}}$$

- Kapitalwert - Wellen

$$NPV_{WEEP} = 13,81 \text{ Mio. €}$$

- Kapitalwert - Meeresströmungen

$$NPV_{MSEP} = 18,08 \text{ Mio. €}$$

Mit dem Kapitalwert als Spitzenkennzahl, d.h. bei ausschließlicher Betrachtung der einfachen Erfolgsdimension, würde sich der Vorstand aufgrund des höchsten Kapitalwerts für die Durchführung des Offshore-Windenergieprojekts entscheiden.

7.3.2. Realoptionswertbestimmung

Nach dem jetzigen Stand der Berechnungen ist der Wert der analysierten Anlagentechnologien mit deren Kapitalwert zum Zeitpunkt t_0 identisch. Allerdings wird bei dieser kapitalwertorientierten Betrachtungsweise der Wert der investitionsprojekthärenten Handlungsflexibilitäten weder explizit noch implizit berücksichtigt. Um diese bewertungstechnische Unzulänglichkeit zu überwinden und den Ausweis eines erweiterten Kapitalwerts zu ermöglichen, bedarf es ergänzend zu der Kapitalwertbestimmung einer Realoptionswertbestimmung. Dabei werden die anlagentechnologiespezifischen Realoptionswerte zum Zeitpunkt t_0 als Flexibilitätswerte ermittelt.

Die Bestimmung der Realoptionswerte erfolgt über das auf dem Ereignisbaumverfahren basierende, numerische Entscheidungsbaumverfahren, bei dem die Präferenzen der Entscheider, in diesem Fall des Vorstands, unberücksichtigt bleiben. Im Rahmen dieses Fallbeispiels wird unterstellt, dass die anlagentechnologiespezifischen Realoptionsrechte mit Ablauf des vierten Projektjahres verfallen, d.h. die Handlungsflexibilitäten sind auf die Planungsphase und die ersten drei Jahre der Bauphase beschränkt. Der Grund dafür liegt in der Irreversibilität der getroffenen Investitionsprojektentscheidungen ab einem gewissen Zeitpunkt im Projekt, hier dem Beginn des letzten Abschnitts der Bauphase. Unter Verwendung geometrischer Ereignisbäume wird die Entwicklung der Kapitalwerte (Basiswerte) der betrachteten Anlagentechnologien (Basisobjekte) über den Optionszeitraum von vier Jahren (01.01.2010 bis 31.12.2013) nachgebildet. Die multiplikativen Auf- und Abwärtsbewegungen führen zu einer Log-Normalverteilung der Ergebnisse, darge-

stellt als Ereignisknoten; mit anderen Worten, die Ergebnisse umfassen einen Wertebereich von plus unendlich bis null. Den Ausgangspunkt bzw. Initialereignisknoten eines anlagentechnologiespezifischen Ereignisbaums bildet der zuvor berechnete anlagentechnologiespezifische Kapitalwert zum Zeitpunkt t_0 vor Abzug der Anfangsinvestition. Von diesem Initialknoten aus erfolgt die rekombinierende Modellierung der Äste und Ereignisknoten des Baums unter Verwendung des anlagentechnologiespezifischen up -Faktors der Aufwärtsbewegungen und $down$ -Faktors der Abwärtsbewegungen. Die daraus resultierenden rekombinierenden Binomialprozesse basieren auf der Annahme einer konstanten, relativen, anlagentechnologiespezifischen Volatilität. Diese Volatilität dient als Risikoparameter für die Realoptionswertbestimmung und wird auf der Grundlage des relativen, anlagentechnologiespezifischen DRV ermittelt. An dieser Stelle werden zunächst nur die Endergebnisse der Berechnungen der relativen, anlagentechnologiespezifischen DRV zum Zeitpunkt t_0 verwendet, wobei deren schrittweise Herleitung im Rahmen der Risikowertbestimmung im nächsten Abschnitt erfolgt. Nachfolgend wird zunächst die absolute Volatilität je Anlagentechnologie unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der $CFaR$ - und DRV -Ansätze berechnet.

- Absolute Volatilität - allgemein

$$DRV_{\alpha}^{rel} = |-z_{\alpha} \cdot \sigma^{abs}|$$

$$\sigma^{abs} = \left| \frac{DRV_{\alpha}^{rel}}{-z_{\alpha}} \right|$$

- Absolute Volatilität - Offshore-Wind

$$\sigma_{OWIEP}^{abs} = \left| \frac{DRV_{\alpha,OWIEP}^{rel}}{-z_{\alpha}} \right| = \left| \frac{6,62 \text{ Mio. €}}{1,645} \right| = \mathbf{4,03 \text{ Mio. €}}^{308}$$

- Absolute Volatilität - Wellen

$$\sigma_{WEEP}^{abs} = \mathbf{4,47 \text{ Mio. €}}$$

- Absolute Volatilität - Meeresströmungen

$$\sigma_{MSEP}^{abs} = \mathbf{4,96 \text{ Mio. €}}$$

³⁰⁸ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

Unter Verwendung der absoluten, anlagentechnologiespezifischen Volatilität erfolgt die Berechnung der relativen, anlagentechnologiespezifischen Volatilität, für die der anlagentechnologiespezifische Kapitalwert zum Zeitpunkt t_0 als Referenzgröße herangezogen wird.

- Relative Volatilität - allgemein

$$\sigma^{rel} = \left| \frac{\sigma^{abs}}{NPV} \right| = \left| \frac{DRV_{\alpha}^{rel}}{-z_{\alpha}} \cdot \frac{1}{NPV} \right|$$

- Relative Volatilität - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} \sigma_{OWIEP}^{rel} &= \left| \frac{\sigma_{OWIEP}^{abs}}{NPV_{OWIEP}} \right| = \left| \frac{DRV_{\alpha,OWIEP}^{rel}}{-z_{\alpha}} \cdot \frac{1}{NPV_{OWIEP}} \right| = \\ &= \left| \frac{6,62 \text{ Mio. €}}{1,645} \cdot \frac{1}{18,41 \text{ Mio. €}} \right| = \mathbf{0,22} \end{aligned}$$

- Relative Volatilität - Wellen

$$\sigma_{WEEP}^{rel} = \mathbf{0,32}$$

- Relative Volatilität - Meeresströmungen

$$\sigma_{MSEP}^{rel} = \mathbf{0,27}$$

Auf der Grundlage der relativen, anlagentechnologiespezifischen Volatilität und der anlagentechnologiespezifischen Granularität der Ereignisbäume werden gemäß dem Ansatz von Cox, Ross und Rubinstein³⁰⁹ die anlagentechnologiespezifischen *up*- und *down*-Faktoren bestimmt. Als Granularität wird ein einheitliches Zeitintervall von einem Jahr festgelegt, so dass gilt:

- Granularität - Offshore-Wind

$$\Delta t_{OWIEP} = 1,00$$

- Granularität - Wellen

$$\Delta t_{WEEP} = 1,00$$

- Granularität - Meeresströmungen

$$\Delta t_{MSEP} = 1,00$$

Die Aufwärtsbewegungen innerhalb der Ereignisbäume werden durch die folgenden anlagentechnologiespezifischen *up*-Faktoren determiniert:

³⁰⁹ Vgl. Cox/Ross/Rubinstein (1979), S. 229-263.

- *up*-Faktor - allgemein

$$u = e^{\sigma^{rel} \cdot \sqrt{\Delta t}}$$

- *up*-Faktor - Offshore-Wind

$$u_{OWIEP} = e^{\sigma_{OWIEP}^{rel} \cdot \sqrt{\Delta t_{OWIEP}}} = e^{0,22 \cdot \sqrt{1}} = \mathbf{1,24}$$

- *up*-Faktor - Wellen

$$u_{WEEP} = \mathbf{1,38}$$

- *up*-Faktor - Meeresströmungen

$$u_{MSEP} = \mathbf{1,32}$$

In Anlehnung an die anlagentechnologiespezifischen *up*-Faktoren werden die anlagentechnologiespezifischen *down*-Faktoren wie folgt ermittelt:

- *down*-Faktor - allgemein

$$d = \frac{1}{u} = u^{-1} = e^{-\sigma^{rel} \cdot \sqrt{\Delta t}}$$

- *down*-Faktor - Offshore-Wind

$$d_{OWIEP} = \frac{1}{u_{OWIEP}} = \frac{1}{1,24} = \mathbf{0,80}^{310}$$

- *down*-Faktor - Wellen

$$d_{WEEP} = \mathbf{0,72}$$

- *down*-Faktor - Meeresströmungen

$$d_{MSEP} = \mathbf{0,76}$$

Unter Verwendung des *up*- und *down*-Faktors je Anlagentechnologie wird der Basiswert $S_{i,j}$ an jedem Knoten j zum Zeitpunkt $i \cdot \Delta t$ innerhalb des anlagentechnologiespezifischen Ereignisbaums berechnet. Basierend auf der allgemeinen Gleichung wird nachfolgend der Basiswert am Ereignisknoten $S_{3,1}$ abhängig von der Anlagentechnologie auf klassische Weise berechnet.

- Basiswert - klassische Berechnung - allgemein

$$S_{i,j} = S_{0,0} \cdot u^j \cdot d^{i-j}$$

- Basiswert - klassische Berechnung - Offshore-Wind - allgemein

³¹⁰ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

$$S_{i,j,OWIEP} = S_{0,0,OWIEP} \cdot u_{OWIEP}^j \cdot d_{OWIEP}^{i-j}$$

- Basiswert - klassische Berechnung - Offshore-Wind - Beispiel

$$\begin{aligned} S_{3,1,OWIEP} &= S_{0,0,OWIEP} \cdot u_{OWIEP}^1 \cdot d_{OWIEP}^{3-1} = \\ &= S_{0,0,OWIEP} \cdot u_{OWIEP} \cdot d_{OWIEP}^2 = 28,41 \text{ Mio. €} \cdot 1,24 \cdot 0,80^2 = \\ &= \mathbf{22,83 \text{ Mio. €}^{311}} \end{aligned}$$

- Basiswert - klassische Berechnung - Wellen - Beispiel

$$S_{3,1,WEEP} = \mathbf{17,22 \text{ Mio. €}}$$

- Basiswert - klassische Berechnung - Meeresströmungen - Beispiel

$$S_{3,1,MSEP} = \mathbf{21,35 \text{ Mio. €}}$$

Die Voraussetzungen für die Gültigkeit dieser Formeln sind zum einen, dass i und j nur ganzzahlige Werte einschließlich null ($i, j \in \mathbb{N}_0$) annehmen können, und zum anderen die absteigende Nummerierung der Knoten mit $j = 0$ als Endknoten. Im Resultat ergeben sich die folgenden Ereignisbäume der drei zu bewertenden Anlagentechnologien.

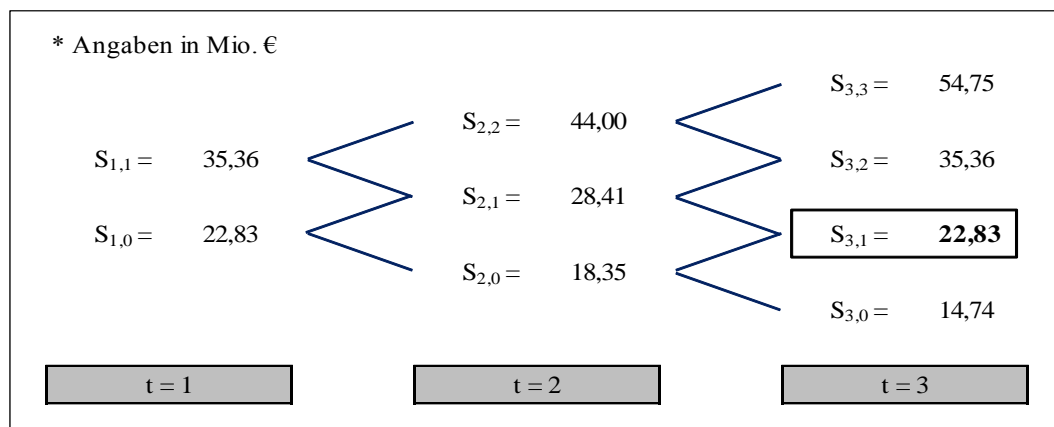


Abb. 7-4: Ereignisbaum des Offshore-Windenergieprojekts (Ausschnitt).

Quelle: Eigene Darstellung.

³¹¹ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

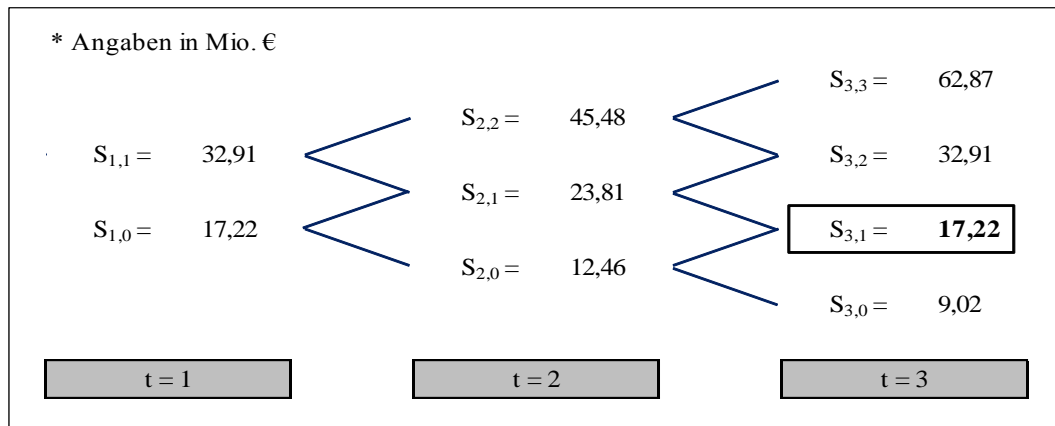


Abb. 7-5: Ereignisbaum des Wellenenergieprojekts (Ausschnitt).

Quelle: Eigene Darstellung.

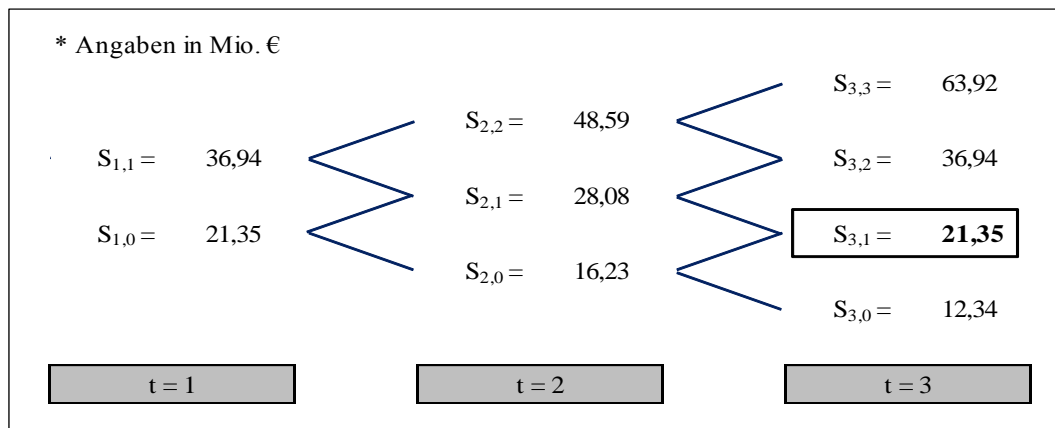


Abb. 7-6: Ereignisbaum des Meeresströmungsenergieprojekts (Ausschnitt).

Quelle: Eigene Darstellung.

Der modellierte Ereignisbaum je Anlagentechnologie wird im nächsten Schritt um die anlagentechnologiespezifische(n) Handlungsflexibilität(en) ergänzt und im Zuge dessen in einen sog. „Entscheidungsbaum“ konvertiert. Bevor diese Konvertierung bzw. rekursive Bestimmung der anlagentechnologiespezifischen Realoptionswerte und erweiterten Kapitalwerte stattfinden kann, bedarf es zunächst der Spezifizierung der anlagentechnologiespezifischen Handlungsflexibilität(en).

Aus Gründen der Komplexitätsreduktion und Verbesserung der Ergebnisvergleichbarkeit werden im Rahmen dieses Fallbeispiels drei standardisierte Realoptionsarten definiert. Dabei handelt es sich um eine Erweiterungs-, eine Einschränkung- und eine Abbruchoption. Die vordefinierten Standardoptionen zeichnen sich durch ihren binären Charakter in Bezug auf die Anlagentechnologien aus, d.h. entweder

ist die entsprechende Handlungsflexibilität bei einer Anlagentechnologie vollständig gegeben und wirkt potenziell werterhöhend oder sie ist nicht vorhanden und dementsprechend auch nicht wertsteigernd. Die Existenz von Teilloptionsrechten mit abweichenden Optionsparametern, wie beispielsweise verkürzten Optionslaufzeiten, sei somit ausgeschlossen.

Die wesentlichen Determinanten für die Existenz von Erweiterungs- und/oder Einschränkungsoptionen bei Offshore-Energieparkprojekten sind neben der Größe des erworbenen Offshore-Gebiets die Anpassungsfähigkeit der bestehenden bzw. geplanten Produktionskapazitäten und das Entwicklungspotenzial der gewählten Anlagentechnologie. Bezugnehmend auf die Erweiterungsoption wird angenommen, dass sowohl die Eigenfertigung als auch der Fremdbezug der Anlagen flexibel angepasst werden können. Die Erweiterungsaufwendungen einer Investitionsprojekterweiterung um 30,00% bezogen auf den Basiswert belaufen sich auf 5,00 Mio. €. Diese Handlungsflexibilität besteht annahmegemäß nur bei dem Wellenenergiepark bzw. der *PB150 PowerBuoy*-Anlagentechnologie. Die Einschränkungsoption beschreibt die Flexibilität zur Verringerung der Eigenproduktion und/oder des Fremdbezugs im Rahmen des Anlagenbaus. Analog zur Erweiterungsoption stellt der Basiswert auch bei der Einschränkungsoption den Bezugswert dar, wobei die Aufwendungen für eine zehnjährige Einschränkung 10,00 Mio. € betragen. Definitionsgemäß zeichnen sich sowohl der Wellenenergie- als auch der Meeresströmungsenergiepark mit den dazugehörigen Anlagentechnologien *PB150 PowerBuoy* und *SeaGen* durch die Flexibilität zur Einschränkung aus. Die Abbruchsoption bezieht sich auf das Recht des Unternehmens, die erworbenen Gebiets- und Nutzungsrechte sowie die Studienergebnisse und ggf. Produktionsstätten und Anlagen im Bau an einen externen Investor zu verkaufen. Dem Unternehmen (Optionshalter) liegt das verbindliche Kaufangebot eines Finanzinvestors (Optionsstillhalter) vor, in dem sich dieser verpflichtet, sämtliche Vermögenswerte und -gegenstände des Gesamtinvestitionsprojekts *OEP* (Basisobjekt) gegen die Zahlung von 15,00 Mio. € (Basispreis) zu erwerben. Das Kaufangebot ist im Zeitraum von 01.01.2010 bis einschließlich 31.12.2013 uneingeschränkt gültig und stellt demzufolge eine amerikanische Verkaufsoption für das Unternehmen dar. Im Rahmen der

Modellierung der Abbruchsoption wird der Basispreis als Liquidationserlös L interpretiert. Das Recht zum Investitionsprojektabbruch gilt für alle Anlagentechnologien gleichermaßen und ist daher als anlagentechnologieunabhängig anzusehen. Während es sich bei der Erweiterungsoption um eine Wachstumsoption handelt, können die Einschränkungs- und Abbruchsoption den Versicherungsoptionen zugeordnet werden.

Ausgehend von den Endknoten der anlagentechnologiespezifischen Ereignisbäume erfolgt unter Berücksichtigung der anlagentechnologieinhärenten Realoptionen die Modellierung der anlagentechnologiespezifischen Entscheidungsbäume, an deren Ursprung die erweiterten, anlagentechnologiespezifischen Kapitalwerte zum Zeitpunkt t_0 die Initialknoten bilden. Aufgrund der einheitlichen Optionslaufzeit aller drei Realoptionsarten von vier Jahren handelt es sich bei den Endknoten um die Knotenpunkte $S_{4,j}$. Dabei lassen sich die anlagentechnologiespezifischen Entscheidungsregeln an den Endknoten analytisch und anwendungsspezifisch wie folgt darstellen:

- Entscheidungsregel - Endknoten - Offshore-Wind - allgemein

$$ENPV_{i,j,ABO,OWIEP} = ENPV_{4,j,ABO,OWIEP} = \text{Max}(S_{4,j,OWIEP}; L_{OWIEP})$$
- Entscheidungsregel - Endknoten - Offshore-Wind - Beispiel

$$ENPV_{4,2,ABO,OWIEP} = \text{Max}(S_{4,2,OWIEP}; L_{OWIEP}) =$$

$$= \text{Max}(28,41 \text{ Mio. €}; 15,00 \text{ Mio. €}) = \mathbf{28,41 \text{ Mio. €}}$$
- Entscheidungsregel - Endknoten - Wellen - allgemein

$$ENPV_{i,j,MUO,WEEP} = ENPV_{4,j,MUO,WEEP} =$$

$$= \text{Max}(S_{4,j,WEEP}; (1 + k_{WEEP}) \cdot S_{4,j,WEEP} - K_{WEEP};$$

$$(1 - m_{WEEP}) \cdot S_{4,j,WEEP} + M_{WEEP}; L_{WEEP})$$
- Entscheidungsregel - Endknoten - Wellen - Beispiel

$$ENPV_{4,2,MUO,WEEP} = \mathbf{31,43 \text{ Mio. €}}$$
- Entscheidungsregel - Endknoten - Meeresströmungen - allgemein

$$ENPV_{i,j,MUO,MSEP} = ENPV_{4,j,MUO,MSEP} =$$

$$= \text{Max}(S_{4,j,MSEP}; (1 - m_{MSEP}) \cdot S_{4,j,MSEP} + M_{MSEP}; L_{MSEP})$$
- Entscheidungsregel - Endknoten - Meeresströmungen - Beispiel

$$ENPV_{4,2,MUO,MSEP} = \mathbf{35,27 \text{ Mio. €}}$$

Ausgehend von den anlagentechnologiespezifischen, erweiterten Kapitalwerten an den Endknoten werden die anlagentechnologiespezifischen, erweiterten Kapitalwerte an den Nicht-Endknoten berechnet. Dazu bedarf es der Kenntnis der anlagentechnologiespezifischen, risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten der Aufwärts- und Abwärtsbewegungen. Dabei bezeichnet q die risikoneutrale Wahrscheinlichkeit, dass der Basiswert innerhalb einer Zeitperiode einen Wertanstieg in Höhe des up -Faktors erfährt. Analog dazu gibt $1 - q$ die risikoneutrale Gegenwahrscheinlichkeit an, mit welcher der Basiswert innerhalb einer Zeitperiode um den $down$ -Faktor an Wert verliert.

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Aufwärtsbewegung - allgemein

$$q = \frac{1 + r_f - d}{u - d}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Aufwärtsbewegung - Offshore-Wind

$$q_{OWIEP} = \frac{1 + r_f - d_{OWIEP}}{u_{OWIEP} - d_{OWIEP}} = \frac{1 + 0,05 - 0,80}{1,24 - 0,80} = \mathbf{55,90\%}^{312}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Aufwärtsbewegung - Wellen

$$q_{WEEP} = \mathbf{49,57\%}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Aufwärtsbewegung - Meeresströmungen

$$q_{MSEP} = \mathbf{52,19\%}$$

Die anlagentechnologiespezifischen, risikoneutralen Gegenwahrscheinlichkeiten werden demnach wie folgt bestimmt:

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Abwärtsbewegung - allgemein

$$1 - q = 1 - \frac{1 + r_f - d}{u - d}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Abwärtsbewegung - Offshore-Wind

$$1 - q_{OWIEP} = 1 - \frac{1 + r_f - d_{OWIEP}}{u_{OWIEP} - d_{OWIEP}} = 1 - 0,5590 = \mathbf{44,10\%}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Abwärtsbewegung - Wellen

³¹² Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

$$1 - q_{WEEP} = \mathbf{50,43\%}$$

- Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit - Abwärtsbewegung - Meeresströmungen

$$1 - q_{MSEP} = \mathbf{47,81\%}$$

Bei den Berechnungen der risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten werden der gleiche risikolose Zinssatz und eine identische Granularität der Entscheidungsbäume zugrunde gelegt. Somit sind ausschließlich die anlagentechnologiespezifischen *up*- und *down*-Faktoren für die Abweichungen zwischen den anlagentechnologiespezifischen, risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten der Aufwärts- und Abwärtsbewegungen verantwortlich. In Anlehnung an die Entscheidungsregeln an den Endknoten und unter Verwendung der risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten werden die anlagentechnologiespezifischen, erweiterten Kapitalwerte an den Nicht-Endknoten anhand folgender Bewertungsformeln bestimmt:

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Offshore-Wind - allgemein

$$\begin{aligned} ENPV_{i,j,ABO,OWIEP} &= \\ &= \text{Max} \left(\frac{q_{OWIEP} \cdot ENPV_{i+1,j+1,ABO,OWIEP} + (1 - q_{OWIEP}) \cdot ENPV_{i+1,j,ABO,OWIEP}}{(1 + r_f)^{4t}}; L_{OWIEP} \right) \end{aligned}$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Offshore-Wind - Beispiel

$$\begin{aligned} ENPV_{3,2,ABO,OWIEP} &= \\ &= \text{Max} \left(\frac{0,56 \cdot ENPV_{4,3,ABO,OWIEP} + (1 - 0,56) \cdot ENPV_{4,2,ABO,OWIEP}}{(1 + 0,05)^1}; 15,00 \text{ Mio. €} \right) = \\ &= \text{Max} \left(\frac{0,56 \cdot 44,00 \text{ Mio. €} + 0,44 \cdot 28,41 \text{ Mio. €}}{(1 + 0,05)}; 15,00 \text{ Mio. €} \right) = \\ &= \mathbf{35,36 \text{ Mio. €}}^{313} \end{aligned}$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Wellen - allgemein

$$\begin{aligned} ENPV_{i,j,MUO,WEEP} &= \\ &= \text{Max} \left(\frac{q_{WEEP} \cdot ENPV_{i+1,j+1,MUO,WEEP} + (1 - q_{WEEP}) \cdot ENPV_{i+1,j,MUO,WEEP}}{(1 + r_f)^{4t}}; \right. \\ &\quad \left. (1 + k_{WEEP}) \cdot S_{i,j,WEEP} - K_{WEEP}; (1 - m_{WEEP}) \cdot S_{i,j,WEEP} + M_{WEEP}; L_{WEEP} \right) \end{aligned}$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Wellen - Beispiel

³¹³ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

$$ENPV_{3,2,MUO,WEEP} = \mathbf{40,65 \text{ Mio. €}}$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Meeresströmungen - allgemein

$$ENPV_{i,j,MUO,MSEP} =$$

$$= \text{Max} \left(\frac{q_{MSEP} \cdot ENPV_{i+1,j+1,MUO,MSEP} + (1 - q_{MSEP}) \cdot ENPV_{i+1,j,MUO,MSEP}}{(1 + r_f)^{\Delta t}}; \right.$$

$$\left. (1 - m_{MSEP}) \cdot S_{i,j,MSEP} + M_{MSEP}; L_{MSEP} \right)$$

- Entscheidungsregel - Nicht-Endknoten - Meeresströmungen - Beispiel

$$ENPV_{3,2,MUO,MSEP} = \mathbf{43,24 \text{ Mio. €}}$$

Die auf diese Weise rekursiv bestimmbaren Initialknoten der anlagentechnologiespezifischen Entscheidungsbäume entsprechen den anlagentechnologiespezifischen, erweiterten Kapitalwerten zum Zeitpunkt t_0 .

- Erweiterter Kapitalwert - allgemein

$$ENPV_{0,0} = ENPV$$

- Erweiterter Kapitalwert - Offshore-Wind

$$ENPV_{0,0,ABO,OWIEP} = ENPV_{ABO,OWIEP} = ENPV_{OWIEP} = \mathbf{18,51 \text{ Mio. €}}$$

- Erweiterter Kapitalwert - Wellen

$$ENPV_{0,0,MUO,WEEP} = ENPV_{MUO,WEEP} = ENPV_{WEEP} = \mathbf{21,83 \text{ Mio. €}}$$

- Erweiterter Kapitalwert - Meeresströmungen

$$ENPV_{0,0,MUO,MSEP} = ENPV_{MUO,MSEP} = ENPV_{MSEP} = \mathbf{25,27 \text{ Mio. €}}$$

Die rekursive Bestimmung der anlagentechnologiespezifischen, erweiterten Kapitalwerte mittels des Entscheidungsbaumverfahrens wird durch die nachfolgenden Abbildungen 7-7, 7-8 und 7-9 visualisiert.

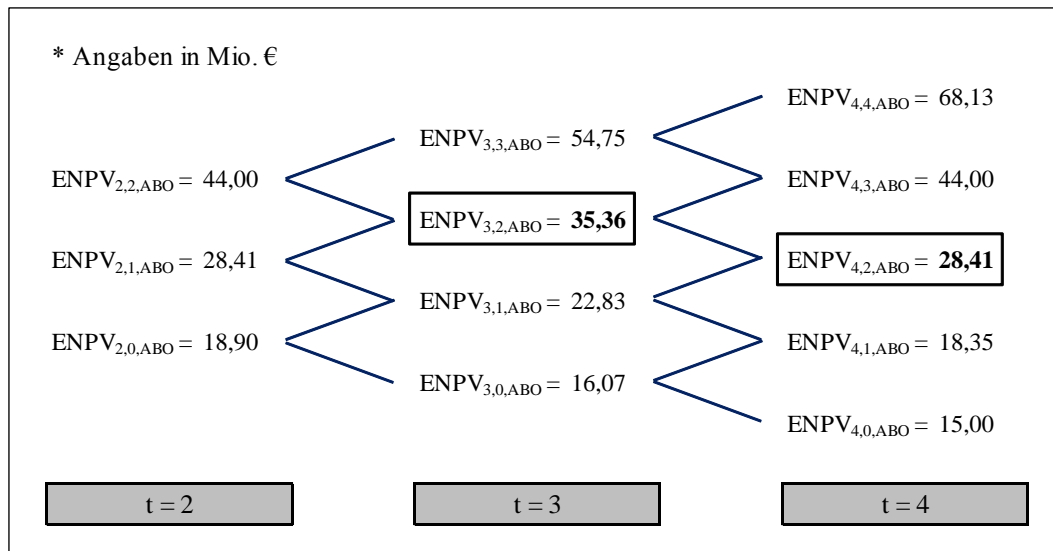


Abb. 7-7: Rekursive Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts des Offshore-Windenergieparks (Ausschnitt).

Quelle: Eigene Darstellung.

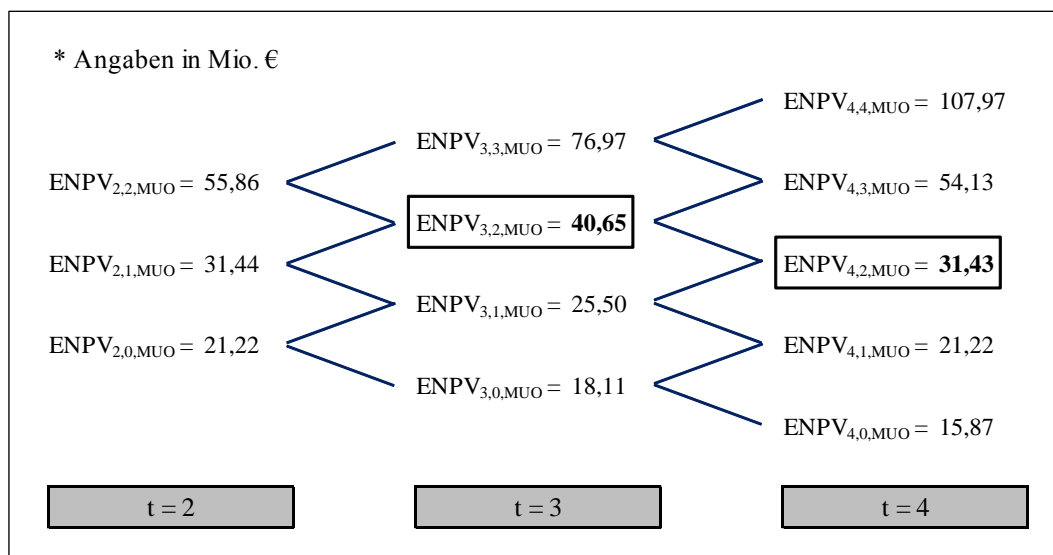


Abb. 7-8: Rekursive Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts des Wellenenergieparks (Ausschnitt).

Quelle: Eigene Darstellung.

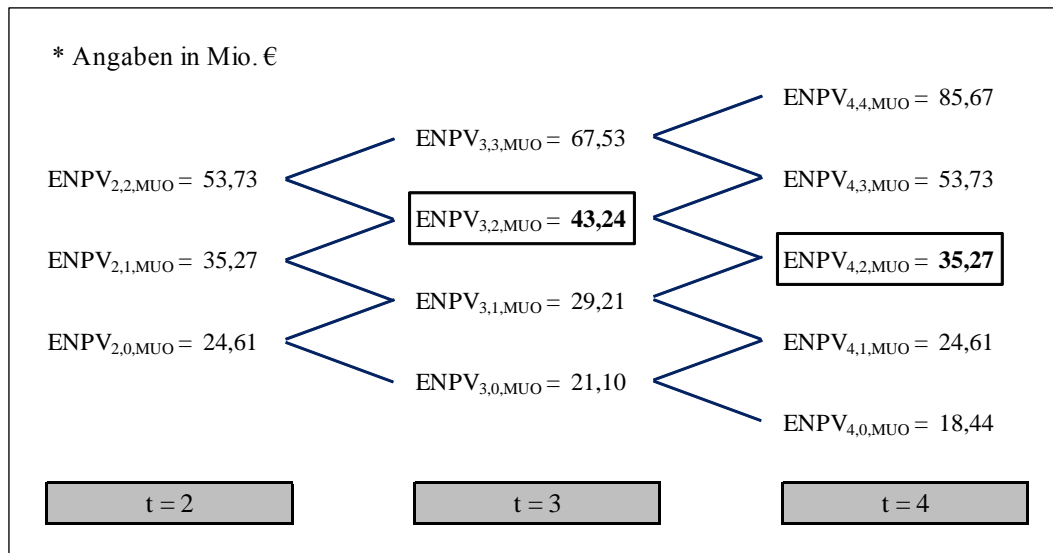


Abb. 7-9: Rekursive Bestimmung des erweiterten Kapitalwerts des Meeresströmungsenergieparks.

Quelle: Eigene Darstellung.

Der erweiterte Kapitalwert vereint durch die Addition des Kapital- und Realoptionswerts die Ertrags- und Flexibilitätsdimension in einer Steuerungskennzahl. Demnach ergeben sich die anlagentechnologiespezifischen Realoptionswerte aus der Differenz von anlagentechnologiespezifischem, erweitertem Kapitalwert und anlagentechnologiespezifischem Kapitalwert.

- Realoptionswert - allgemein

$$ROV = ENPV - NPV$$

- Realoptionswert - Offshore-Wind

$$\begin{aligned} ROV_{OWIEP} &= ENPV_{OWIEP} - NPV_{OWIEP} = \\ &= 18,51 \text{ Mio. €} - 18,41 \text{ Mio. €} = \mathbf{0,10 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

- Realoptionswert - Wellen

$$ROV_{WEEP} = \mathbf{8,02 \text{ Mio. €}}$$

- Realoptionswert - Meeresströmungen

$$ROV_{MSEP} = \mathbf{7,19 \text{ Mio. €}}$$

Durch die integrierte Bewertung der Ertrags- und Flexibilitätsdimension mit dem erweiterten Kapitalwert als Spitzenkennzahl würde die Vorstandsentscheidung zugunsten der Durchführung des Meeresströmungsenergieprojekts ausfallen, da die *SeaGen*-Anlagentechnologie den höchsten erweiterten Kapitalwert aufweist.

7.3.3. Risikowertbestimmung

Das Ergebnis der bisherigen Ausführungen, der erweiterte Kapitalwert je Anlagentechnologie, integriert bereits die Kapital- und Realloptionswertbestimmung. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Werthaltigkeit eines Investitionsprojekts bedarf es jedoch zusätzlich der Integration der bislang noch unberücksichtigten Risikoperspektive. Diese Dimension wird durch die relativen, anlagentechnologiespezifischen *DRV* abgebildet, deren Berechnung den Ausweis des erweiterten, risikoadjustierten Kapitalwerts je Anlagentechnologie ermöglicht.

Das im Rahmen dieses Fallbeispiels analysierte Investitionsprojekt *OEP* zeichnet sich durch eine hohe Risikokomplexität aus. Dabei wird das finanzielle, anlagentechnologiespezifische Gesamtrisiko, ausgedrückt durch den relativen *DRV* zum Zeitpunkt t_0 , von drei Risikofaktoren beeinflusst. Bei diesen Faktoren handelt es sich um die Absatzmenge, den Absatzpreis und die Investitionsprojektkosten (*IPK*) in Abhängigkeit von der Anlagentechnologie. Entscheidend für die Risikowertbestimmung sind die zugrunde gelegten Erwartungswerte der Risikofaktoren und nicht deren prozentuale oder absolute Veränderungen innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls. Die Berechnung der Einzelrisiken und deren Aggregation zum Gesamtrisiko erfolgt mittels des Varianz-Kovarianz-Ansatzes, dessen Anwendung auf der Annahme der Normalverteilung aller berücksichtigten Risikofaktoren beruht. Ergänzend zu den im Verlauf der Kapital- und Realloptionswertbestimmung getroffenen Annahmen wird für die Risikowertbestimmung ein Konfidenzniveau von 5,00% festgelegt, das die leicht risikoaverse Haltung des Vorstands widerspiegelt.

Zur Berechnung der relativen, anlagentechnologiespezifischen *DRV* bedarf es im ersten Schritt der Bestimmung der relativen, anlagentechnologiespezifischen *CFaR* je Risikofaktor. Für die *CFaR*-Berechnung gilt, unabhängig von der Anlagentechnologie und dem Risikofaktor, ein Zeitintervall von einem Jahr. Der zweite Schritt sieht die intratemporale Intraprojektrisikoaggregation vor, bei der die Aggregation der Einzelrisiken für jedes Zeitintervall und jede Anlagentechnologie separat erfolgt. Die letzte Stufe der Risikowertbestimmung stellt die intertemporale Intraprojektrisikoaggregation dar. Dabei findet die Risikoaggregation ebenfalls getrennt

nach Anlagentechnologie, im Gegensatz zur intratemporalen Intraprojektrisikoaggregation jedoch zeitintervallübergreifend statt.

Die Höhe des jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Absatzmengenrisikos wird annahmegemäß ausschließlich durch die Schwankungen der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Gesamtleistung, abgebildet durch die Standardabweichung, determiniert. Die Voraussetzung dafür ist, dass die jährliche, anlagentechnologiespezifische Produktionsmenge, ausgedrückt durch die erwartete, jährliche, anlagentechnologiespezifische Gesamtleistung, vollständig ins Versorgungsnetz eingespeist wird, d.h. der jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Absatzmenge entspricht. Davon kann gegenwärtig bei innovativen, regenerativen Energien aufgrund ihrer Bedeutung für ein volkswirtschaftlich nachhaltiges, strategisches Energieversorgungskonzept grundsätzlich ausgegangen werden. Aus Gründen der Komplexitätsreduktion entspricht das jährliche, anlagentechnologiespezifische Absatzmengenrisiko einem im Zeitablauf konstanten, prozentualen Risikoanteil o der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Gesamtleistung. Bei Offshore-Windenergie entspricht dieser Anteil annahmegemäß 25,00%, bei Wellenenergie 15,00% und bei Meeresströmungsenergie 10,00%. Die Kontinuität der Verfügbarkeit des Energieträgers ist ausschlaggebend für die Höhe dieses Anteils.³¹⁴ Sowohl Wellen- als auch Meeresströmungsenergie zeichnen sich im Vergleich zu Windenergie durch eine konstantere Verfügbarkeit des Energieträgers aus, wodurch sich die Schwankungsbreite der Gesamtleistung verringert. Unter Verwendung dieser Parameter berechnet sich die im Investitionsprojektverlauf konstante Standardabweichung der Gesamtleistung in Abhängigkeit von der Anlagentechnologie wie folgt:

- Standardabweichung - Gesamtleistung - allgemein

$$\sigma_t^{GL} = o_t^{GL} \cdot \mu_t^{GL}$$

- Standardabweichung - Gesamtleistung - Offshore-Wind

$$\sigma_{t,OWIEP}^{GL} = o_{t,OWIEP}^{GL} \cdot \mu_{t,OWIEP}^{GL}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{2015,OWIEP}^{GL} &= o_{2015,OWIEP}^{GL} \cdot \mu_{2015,OWIEP}^{GL} = 0,25 \cdot 73.584,00MWh = \\ &= \mathbf{18.396,00MWh}\end{aligned}$$

³¹⁴ Vgl. dazu und im Folgenden Gruber (2009), S. 40.

- Standardabweichung - Gesamtleistung - Wellen

$$\sigma_{2015,WEEP}^{GL} = \mathbf{9.460,80MWh}$$

- Standardabweichung - Gesamtleistung - Meeresströmungen

$$\sigma_{2015,MSEP}^{GL} = \mathbf{7.358,40MWh}$$

Im nächsten Schritt werden, basierend auf diesen Standardabweichungen, die jährlichen, anlagentechnologiespezifischen α -Quantile der Normalverteilung der Gesamtleistung ermittelt.

- α -Quantil - Gesamtleistung - allgemein

$$x_{\alpha,t}^{GL} = \mu_t^{GL} + z_{\alpha} \cdot \sigma_t^{GL}$$

- α -Quantil - Gesamtleistung - Offshore-Wind

$$x_{\alpha,t,OWIEP}^{GL} = \mu_{t,OWIEP}^{GL} + z_{\alpha} \cdot \sigma_{t,OWIEP}^{GL}$$

$$\begin{aligned} x_{0,05,2015,OWIEP}^{GL} &= \mu_{2015,OWIEP}^{GL} + z_{0,05} \cdot \sigma_{2015,OWIEP}^{GL} = \\ &= 73.584,00MWh + (-1,645) \cdot 18.396,00MWh = \\ &= \mathbf{43.322,58MWh} \end{aligned}$$

- α -Quantil - Gesamtleistung - Wellen

$$x_{0,05,2015,WEEP}^{GL} = \mathbf{47.508,98MWh}$$

- α -Quantil - Gesamtleistung - Meeresströmungen

$$x_{0,05,2015,MSEP}^{GL} = \mathbf{61.479,43MWh}$$

Aus der Differenz der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Gesamtleistung und dem korrespondierenden α -Quantil der Normalverteilung ergeben sich die relativen, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen *CFaR* der Gesamtleistung. Die Umwandlung dieser *CFaR* in monetäre Größen und damit die Quantifizierung des Absatzmengenrisikos erfolgt durch die Multiplikation mit dem jährlichen Erwartungswert für Baseload-Strom.

- Relativer *CFaR* - Gesamtleistung - allgemein

$$CFaR_{\alpha,t}^{rel,GL} = \mu_t^{GL} - x_{\alpha,t}^{GL} \triangleq (\mu_t^{GL} - x_{\alpha,t}^{GL}) \cdot \mu_t^{BLS}$$

- Relativer *CFaR* - Gesamtleistung - Offshore-Wind - allgemein

$$\begin{aligned} CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,GL} &= \mu_{t,OWIEP}^{GL} - x_{\alpha,t,OWIEP}^{GL} \\ &\triangleq (\mu_{t,OWIEP}^{GL} - x_{\alpha,t,OWIEP}^{GL}) \cdot \mu_t^{BLS} \end{aligned}$$

- Relativer *CFaR* - Gesamtleistung - Offshore-Wind - Beispiel

$$\begin{aligned}
CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,GL} &= \mu_{2015,OWIEP}^{GL} - x_{0,05,2015,OWIEP}^{GL} \\
&\triangleq (\mu_{2015,OWIEP}^{GL} - x_{0,05,2015,OWIEP}^{GL}) \cdot \mu_{2015}^{BLS} = \\
&= (73.584,00MWh - 43.322,58MWh) \cdot 50,25€/MWh = \\
&= \mathbf{1,52 Mio. €}
\end{aligned}$$

- Relativer *CFaR* - Gesamtleistung - Wellen - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,WEEP}^{rel,GL} = \mathbf{0,78 Mio. €}$$

- Relativer *CFaR* - Gesamtleistung - Meeresströmungen - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,MSEP}^{rel,GL} = \mathbf{0,61 Mio. €}$$

Neben dem Absatzmengenrisiko ist das Absatzpreisrisiko als weiterer Risikofaktor im Rahmen der Berechnung der anlagentechnologiespezifischen Gesamtrisikoposition zu berücksichtigen. Im Gegensatz zum Absatzmengenrisiko ist das Absatzpreisrisiko unabhängig vom betrachteten Energieträger und annahmegemäß konstant im Zeitablauf. Als Grundlage für die Berechnung dienen die durchschnittlichen, monatlichen Strompreise für Baseload-Strom an der *EEX* im Zeitraum von Oktober 2007 bis September 2010. Demnach ergeben sich für den jährlichen Erwartungswert und die jährliche Standardabweichung von Baseload-Strom konstante Werte von 50,25MWh und 14,61MWh. Unter Verwendung dieser Ergebnisse werden die jährlichen α -Quantile der Normalverteilung wie folgt bestimmt:

- α -Quantil - Baseload-Strom - allgemein

$$x_{\alpha,t}^{BLS} = \mu_t^{BLS} + z_{\alpha} \cdot \sigma_t^{BLS}$$

- α -Quantil - Baseload-Strom - Beispiel

$$\begin{aligned}
x_{0,05,2015}^{BLS} &= \mu_{2015}^{BLS} + z_{0,05} \cdot \sigma_{2015}^{BLS} = \\
&= 50,25€/MWh + (-1,645) \cdot 14,61€/MWh = \mathbf{26,22€/MWh}
\end{aligned}$$

Das Absatzpreisrisiko, ausgedrückt durch den relativen, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen *CFaR*, berechnet sich analog zum Absatzmengenrisiko aus der Differenz von Erwartungswert und α -Quantil der Normalverteilung von Baseload-Strom multipliziert mit der erwarteten, jährlichen Gesamtleistung je Anlagentechnologie.

- Relativer *CFaR* - Baseload-Strom – allgemein

$$CFaR_{\alpha,t}^{rel,BLS} = \mu_t^{BLS} - x_{\alpha,t}^{BLS} \triangleq (\mu_t^{BLS} - x_{\alpha,t}^{BLS}) \cdot \mu_t^{GL}$$

- Relativer $CFaR$ - Baseload-Strom - Offshore-Wind - allgemein

$$CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,BLS} = \mu_t^{BLS} - x_{\alpha,t}^{BLS} \triangleq (\mu_t^{BLS} - x_{\alpha,t}^{BLS}) \cdot \mu_{t,OWIEP}^{GL}$$

- Relativer $CFaR$ - Baseload-Strom - Offshore-Wind - Beispiel

$$\begin{aligned} CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,BLS} &= \mu_{2015}^{BLS} - x_{0,05,2015}^{BLS} \\ &\triangleq (\mu_{2015}^{BLS} - x_{0,05,2015}^{BLS}) \cdot \mu_{2015,OWIEP}^{GL} = \\ &= (50,25\text{€/MWh} - 26,22\text{€/MWh}) \cdot 73.584,00\text{MWh} = \mathbf{1,77 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

- Relativer $CFaR$ - Baseload-Strom - Wellen - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,WEEP}^{rel,BLS} = \mathbf{1,52 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer $CFaR$ - Baseload-Strom - Meeresströmungen - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,MSEP}^{rel,BLS} = \mathbf{1,77 \text{ Mio. €}}$$

Beim dritten Risikofaktor, den Investitionsprojektkosten, handelt es sich, ebenso wie bei der Absatzmenge, um einen endogenen Risikofaktor. Der Absatzpreis ist aufgrund seiner Nichtbeeinflussbarkeit durch das Unternehmen als exogener Risikofaktor von den beiden endogenen Risikofaktoren abzugrenzen. Im Rahmen der Berechnung der jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektkostenrisiken werden zunächst die jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Standardabweichungen der Investitionsprojektkosten ermittelt. Dabei werden die erwarteten, jährlichen Investitionsprojektauszahlungen je Anlagentechnologie als Berechnungsgrundlage herangezogen. Zur Abschätzung des im Risiko stehenden Anteils an diesen Erwartungswerten bedarf es der Analyse historischer Kostenabweichungen vergleichbarer Investitionsprojekte. Im Fallbeispiel wird dieser Risikoanteil durch einen konstanten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Faktor in Höhe von 10,00% approximiert.

- Standardabweichung - Investitionsprojektkosten - allgemein

$$\sigma_t^{IPK} = \sigma_t^{IPK} \cdot \mu_t^{IPAZ}$$

- Standardabweichung - Investitionsprojektkosten - Offshore-Wind - allgemein

$$\sigma_{t,OWIEP}^{IPK} = \sigma_{t,OWIEP}^{IPK} \cdot \mu_{t,OWIEP}^{IPAZ}$$

- Standardabweichung - Investitionsprojektkosten - Offshore-Wind - Beispiel

$$\sigma_{2015,OWIEP}^{IPK} = \sigma_{2015,OWIEP}^{IPK} \cdot \mu_{2015,OWIEP}^{IPAZ} =$$

$$= 0,10 \cdot 2,47 \text{ Mio. €} = \mathbf{0,25 \text{ Mio. €}}$$

- Standardabweichung - Investitionsprojektkosten - Wellen - Beispiel

$$\sigma_{2015,WEEP}^{IPK} = \mathbf{0,21 \text{ Mio. €}}$$

- Standardabweichung - Investitionsprojektkosten - Meeresströmungen - Beispiel

$$\sigma_{2015,MSEP}^{IPK} = \mathbf{0,19 \text{ Mio. €}}$$

Unter Verwendung dieser Ergebnisse und der erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektauszahlungen werden die jährlichen, anlagentechnologiespezifischen α -Quantile der Normalverteilung der Investitionsprojektkosten berechnet.

- α -Quantil - Investitionsprojektkosten - allgemein

$$x_{\alpha,t}^{IPK} = \mu_t^{IPAZ} + z_\alpha \cdot \sigma_t^{IPK}$$

- α -Quantil - Investitionsprojektkosten - Offshore-Wind - allgemein

$$x_{\alpha,t,OWIEP}^{IPK} = \mu_{t,OWIEP}^{IPAZ} + z_\alpha \cdot \sigma_{t,OWIEP}^{IPK}$$

- α -Quantil - Investitionsprojektkosten - Offshore-Wind - Beispiel

$$\begin{aligned} x_{0,05,2015,OWIEP}^{IPK} &= \mu_{2015,OWIEP}^{IPAZ} + z_{0,05} \cdot \sigma_{2015,OWIEP}^{IPK} = \\ &= 2,47 \text{ Mio. €} + (-1,645) \cdot 0,25 \text{ Mio. €} = \mathbf{2,06 \text{ Mio. €}} \end{aligned}$$

- α -Quantil - Investitionsprojektkosten - Wellen - Beispiel

$$x_{0,05,2015,WEEP}^{IPK} = \mathbf{1,74 \text{ Mio. €}}$$

- α -Quantil - Investitionsprojektkosten - Meeresströmungen - Beispiel

$$x_{0,05,2015,MSEP}^{IPK} = \mathbf{1,56 \text{ Mio. €}}$$

Die Differenzen aus den erwarteten, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektauszahlungen und den jährlichen, anlagentechnologiespezifischen α -Quantilen der Normalverteilung der Investitionsprojektkosten entsprechen den relativen, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen $CFaR$ der Investitionsprojektkosten.

- Relativer $CFaR$ - Investitionsprojektkosten - allgemein

$$CFaR_{\alpha,t}^{rel,IPK} = \mu_t^{IPAZ} - x_{\alpha,t}^{IPK}$$

- Relativer $CFaR$ - Investitionsprojektkosten - Offshore-Wind - allgemein

$$CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,IPK} = \mu_{t,OWIEP}^{IPAZ} - x_{\alpha,t,OWIEP}^{IPK}$$

- Relativer $CFaR$ - Investitionsprojektkosten - Offshore-Wind - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,IPK} = \mu_{2015,OWIEP}^{IPAZ} - x_{0,05,2015,OWIEP}^{IPK} =$$

$$= 2,47 \text{ Mio. €} - 2,06 \text{ Mio. €} = \mathbf{0,41 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer $CFaR$ - Investitionsprojektkosten - Wellen - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,WEEP}^{rel,IPK} = \mathbf{0,34 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer $CFaR$ - Investitionsprojektkosten - Meeresströmungen - Beispiel

$$CFaR_{0,05,2015,MSEP}^{rel,IPK} = \mathbf{0,31 \text{ Mio. €}}$$

Nach der Quantifizierung der investitionsprojekthärenten Risikofaktoren bedarf es zum Ausweis der Gesamtrisikoposition je Anlagentechnologie der Aggregation der Einzelrisiken. Bei Investitionsprojekten erfolgt dieser Aggregationsprozess in zwei Stufen, von denen die erste als intratemporale Intraprojektrisikoaggregation und die zweite als intertemporale Intraprojektrisikoaggregation bezeichnet wird. Im Gegensatz zur Risikoaddition wird durch die (zweistufige) Risikoaggregation ein erhöhter Ausweis des anlagentechnologiespezifischen Gesamtrisikos vermieden. Bei der intratemporalen Intraprojektrisikoaggregation werden alle bewerteten Risikofaktoren einer Zeitperiode zu einem zeitperiodenspezifischen Gesamtrisiko (Risk Value, RV) zusammengefasst. Diese zeitperiodenspezifischen Gesamtrisiken werden mit dem risikolosen Zinssatz auf den Zeitpunkt t_0 abgezinst und dadurch gleichnamig gemacht. Das Ergebnis der intratemporalen Intraprojektrisikoaggregation bildet der relative, zeitperiodenspezifische DRV je Anlagentechnologie, der schrittweise wie folgt berechnet wird:

- Relativer, zeitperiodenspezifischer RV - allgemein

$$RV_{\alpha,t}^{rel} = \sqrt{\overrightarrow{CFaR_{\alpha,t}^{rel}} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{CFaR_{\alpha,t}^{rel}}^{trans}} =$$

$$= \sqrt{\left(CFaR_{\alpha,t}^{rel,GL}, CFaR_{\alpha,t}^{rel,BLS}, CFaR_{\alpha,t}^{rel,IPK} \right) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} CFaR_{\alpha,t}^{rel,GL} \\ CFaR_{\alpha,t}^{rel,BLS} \\ CFaR_{\alpha,t}^{rel,IPK} \end{pmatrix}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer RV - Offshore-Wind - allgemein

$$RV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel} = \sqrt{\overrightarrow{CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel}} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel}}^{trans}} =$$

$$= \sqrt{(CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,GL}, CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,BLS}, CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,IPK}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,GL} \\ CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,BLS} \\ CFaR_{\alpha,t,OWIEP}^{rel,IPK} \end{pmatrix}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *RV* - Offshore-Wind - Beispiel

$$RV_{0,05,2015,OWIEP}^{rel} = \sqrt{CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel} \cdot \Omega \cdot CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel}} =$$

$$= \sqrt{(CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,GL}, CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,BLS}, CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,IPK}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,GL} \\ CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,BLS} \\ CFaR_{0,05,2015,OWIEP}^{rel,IPK} \end{pmatrix}} =$$

$$= \sqrt{(1,52 \text{ Mio. €}, 1,77 \text{ Mio. €}, 0,41 \text{ Mio. €}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1,52 \text{ Mio. €} \\ 1,77 \text{ Mio. €} \\ 0,41 \text{ Mio. €} \end{pmatrix}} =$$

$$= \mathbf{2,37 \text{ Mio. €}^{315}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *RV* - Wellen - Beispiel

$$RV_{0,05,2015,WEEP}^{rel} = \mathbf{1,74 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *RV* - Meeresströmungen - Beispiel

$$RV_{0,05,2015,MSEP}^{rel} = \mathbf{1,90 \text{ Mio. €}}$$

Aus den Berechnungen dieser relativen, zeitperiodenspezifischen *RV* wird ersichtlich, dass die analysierten Risikofaktoren, ausgedrückt durch die relativen, jährlichen, anlagentechnologiespezifischen *CFaR*, unkorreliert sind, d.h. die Korrelationskoeffizienten der Risikofaktoren sind null. Dadurch wird die Korrelationskoeffizientenmatrix zu einer sog. „Einheitsmatrix“, deren Hauptdiagonale ausschließlich aus Einsen besteht, während die anderen Elemente null sind. Zur Abzinsung der relativen, zeitperiodenspezifischen *RV* je Anlagentechnologie auf den Zeitpunkt t_0 wird der risikolose Zinssatz in Höhe von 5,00% als Diskontsatz verwendet.

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *DRV* - allgemein

$$DRV_{\alpha,t}^{rel} = \frac{RV_{\alpha,t}^{rel}}{(1 + r_f)^{1+t-t_0}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *DRV* - Offshore-Wind - allgemein

³¹⁵ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

$$DRV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel} = \frac{RV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel}}{(1+r_f)^{1+t-t_0}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *DRV* - Offshore-Wind - Beispiel

$$DRV_{0,05,2015,OWIEP}^{rel} = \frac{RV_{0,05,2015,OWIEP}^{rel}}{(1+0,05)^{1+2015-2010}} = \frac{2,37 \text{ Mio. €}}{1,05^6} =$$

$$= \mathbf{1,77 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *DRV* - Wellen - Beispiel

$$DRV_{0,05,2015,WEEP}^{rel} = \mathbf{1,30 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer, zeitperiodenspezifischer *DRV* - Meeresströmungen - Beispiel

$$DRV_{0,05,2015,MSEP}^{rel} = \mathbf{1,41 \text{ Mio. €}}$$

Auf der Grundlage der Ergebnisse der intratemporalen Intraprojektisik aggrega- tion erfolgt auf der zweiten Stufe der Gesamtrisikoberechnung die intertemporale Intraprojektisik aggrega- tion. Im Zuge derer werden alle relativen, jährlichen, an- lagentechnologiespezifischen *DRV* zu einem anlagentechnologiespezifischen Ge- samtrisiko, ausgedrückt durch den relativen *DRV* je Anlagentechnologie, aggre- giert.

- Relativer *DRV* - allgemein

$$DRV_{\alpha}^{rel} = \sqrt{DRV_{\alpha,t}^{rel} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{DRV_{\alpha,t}^{rel}}^{trans}} =$$

$$= \sqrt{(DRV_{\alpha,t}^{rel}, \dots, DRV_{\alpha,T}^{rel}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & \delta_{t,T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{T,t} & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} DRV_{\alpha,t}^{rel} \\ \vdots \\ DRV_{\alpha,T}^{rel} \end{pmatrix}}$$

- Relativer *DRV* - Offshore-Wind - allgemein

$$DRV_{\alpha,OWIEP}^{rel} = \sqrt{DRV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{DRV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel}}^{trans}} =$$

$$= \sqrt{(DRV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel}, \dots, DRV_{\alpha,T,OWIEP}^{rel}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & \delta_{t,T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{T,t} & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} DRV_{\alpha,t,OWIEP}^{rel} \\ \vdots \\ DRV_{\alpha,T,OWIEP}^{rel} \end{pmatrix}}$$

- Relativer *DRV* - Offshore-Wind - Beispiel

$$DRV_{0,05,OWIEP}^{rel} = \sqrt{DRV_{0,05,t,OWIEP}^{rel} \cdot \Omega \cdot \overrightarrow{DRV_{0,05,t,OWIEP}^{rel}}^{trans}} =$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{(DRV_{0,05,2010,OWIEP}^{rel}, \dots, DRV_{0,05,2034,OWIEP}^{rel}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & \delta_{2010,2034} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{2034,2010} & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} DRV_{0,05,2010,OWIEP}^{rel} \\ \vdots \\ DRV_{0,05,2034,OWIEP}^{rel} \end{pmatrix}} = \\
&= \sqrt{(0,18 \text{ Mio. €}, \dots, 0,70 \text{ Mio. €}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,18 \text{ Mio. €} \\ \vdots \\ 0,70 \text{ Mio. €} \end{pmatrix}} = \\
&= \mathbf{6,62 \text{ Mio. €}}^{316}
\end{aligned}$$

- Relativer *DRV* - Wellen - Beispiel

$$DRV_{0,05,WEEP}^{rel} = \mathbf{7,35 \text{ Mio. €}}$$

- Relativer *DRV* - Meeresströmungen - Beispiel

$$DRV_{0,05,MSEP}^{rel} = \mathbf{8,15 \text{ Mio. €}}$$

Analog zur intratemporalen Intraprojektisikoaggregation gilt bei der intertemporalen Intraprojektisikoaggregation die Annahme unkorrelierter, relativer, zeitperiodenspezifischer *DRV*. Das Ergebnis der Risikowertbestimmung zeigt, dass das Offshore-Windenergieprojekt mit einem relativen *DRV* von 6,62 Mio. € das geringste Gesamtinvestitionsprojektrisiko aufweist. Die erhöhten Gesamtrisiken des Wellenenergieprojekts mit einem relativen *DRV* von 7,35 Mio. € und des Meeresströmungsenergieprojekts mit einem relativen *DRV* in Höhe von 8,15 Mio. € sind in erster Linie auf den geringeren technologischen Reifegrad im Vergleich zur Offshore-Wind-Anlagentechnologie zurückzuführen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Intraprojektisikoaggregation, bei der die Risikoaggregation getrennt für jede Anlagentechnologie erfolgt, besteht die Möglichkeit, das Gesamtrisiko eines Investitionsprojektportefeuilles mittels der sog. „Interprojektrisikoaggregation“ zu bestimmen.³¹⁷ Dabei werden die relativen, anlagentechnologiespezifischen *DRV* als Ergebnisse der intertemporalen Intraprojektisikoaggregation im Zuge der (intertemporalen) Interprojektrisikoaggregation nochmals aggregiert. Somit stellt die Interprojektrisikoaggregation eine mögliche Erweiterungsstufe im Aggregationsprozess dar, die allerdings nur für die Risikowertbestimmung bei Investitionsprojektportefeuilles von Bedeutung ist.

³¹⁶ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

³¹⁷ Die Berechnungen hierzu können anhand des Arbeitsblatts „Fallbeispiel Gesamtergebnisse“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

Im vorliegenden Fallbeispiel ist diese Stufe der Risikoaggregation nicht erforderlich, da sich die Durchführung der drei genannten Energieparkprojekte aufgrund der Investitionsbudgetrestriktion gegenseitig ausschließt. Wäre gemäß Planungsvorgabe die Realisierung aller anlagentechnologiespezifischen Energieparkprojekte innerhalb des Offshore-Energieparkgesamtprojekts vorgesehen, besäßen die einzelnen Energieparkprojekte den Charakter von Teilprojekten. Dadurch ergäbe sich für das Offshore-Energieparkgesamtprojekt folgendes Investitionsportefeuille-risiko in Form des relativen *DRV*:

- Relativer *DRV* - Investitionsprojektportefeuille - allgemein

$$\begin{aligned}
 DRV_{\alpha,IPP}^{rel} &= \sqrt{\overrightarrow{DRV_{\alpha,n}^{rel}} \cdot \Omega \cdot \overleftarrow{DRV_{\alpha,n}^{rel}}^{trans}} = \\
 &= \sqrt{\left(DRV_{\alpha,n}^{rel}, \dots, DRV_{\alpha,N}^{rel} \right) \cdot \begin{pmatrix} 1 & \dots & \delta_{n,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{N,n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} DRV_{\alpha,n}^{rel} \\ \vdots \\ DRV_{\alpha,N}^{rel} \end{pmatrix}}
 \end{aligned}$$

- Relativer *DRV* - Offshore-Energiepark - allgemein

$$\begin{aligned}
 DRV_{\alpha,OEP}^{rel} &= \sqrt{\overrightarrow{DRV_{\alpha,n}^{rel}} \cdot \Omega \cdot \overleftarrow{DRV_{\alpha,n}^{rel}}^{trans}} = \\
 &= \sqrt{\left(DRV_{\alpha,OWIEP}^{rel}, DRV_{\alpha,WEEP}^{rel}, DRV_{\alpha,MSEP}^{rel} \right) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} DRV_{\alpha,OWIEP}^{rel} \\ DRV_{\alpha,WEEP}^{rel} \\ DRV_{\alpha,MSEP}^{rel} \end{pmatrix}}
 \end{aligned}$$

- Relativer *DRV* - Offshore-Energiepark - Beispiel

$$\begin{aligned}
 DRV_{0,05,OEP}^{rel} &= \sqrt{\overrightarrow{DRV_{0,05,n}^{rel}} \cdot \Omega \cdot \overleftarrow{DRV_{0,05,n}^{rel}}^{trans}} = \\
 &= \sqrt{\left(DRV_{0,05,OWIEP}^{rel}, DRV_{0,05,WEEP}^{rel}, DRV_{0,05,MSEP}^{rel} \right) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} DRV_{0,05,OWIEP}^{rel} \\ DRV_{0,05,WEEP}^{rel} \\ DRV_{0,05,MSEP}^{rel} \end{pmatrix}} = \\
 &= \sqrt{\left(6,62 \text{ Mio. €}, 7,35 \text{ Mio. €}, 8,15 \text{ Mio. €} \right) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 6,62 \text{ Mio. €} \\ 7,35 \text{ Mio. €} \\ 8,15 \text{ Mio. €} \end{pmatrix}} = \\
 &= \mathbf{12,82 \text{ Mio. €}}^{318}
 \end{aligned}$$

³¹⁸ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

Die Höhe des Gesamtrisikos bzw. des relativen *DRV* des Investitionsprojektportefeuilles beträgt 12,82 Mio. € und fällt damit um 9,31 Mio. € geringer aus als die Summe der Gesamtrisiken der einzelnen Energieparkprojekte.

7.4. Investitionsprojektauswertung

Im Zuge der Investitionsprojektauswertung werden auf der Basis der Ergebnisse der Investitionsprojektbewertung die erweiterten, risikoadjustierten Performancekennzahlen auf Investitionsprojekt- und Investitionsprojektportefeuilleebene bestimmt.³¹⁹ Im letzten Teil des Fallbeispiels wird aus dem Vergleich und der Analyse der Gesamtergebnisse die konkrete Handlungsempfehlung an den Vorstand abgeleitet. Diese Empfehlung basiert auf der Investitionsprojektrangfolge gemäß dem anlagentechnologiespezifischen *ERANPV* als erweiterte, risikoadjustierte Spitzenkennzahl, die sich aus der Zusammenführung der Ergebnisse der Kapitalwert-, Realoptionswert- und Risikowertbestimmung ergibt.

- *ERANPV* - allgemein

$$ERANPV_{\alpha} = \frac{ENPV}{DRV_{\alpha}^{rel}}$$

- *ERANPV* - Offshore-Wind

$$ERANPV_{\alpha,OWIEP} = \frac{ENPV_{OWIEP}}{DRV_{\alpha,OWIEP}^{rel}}$$

$$ERANPV_{0,05,OWIEP} = \frac{ENPV_{OWIEP}}{DRV_{0,05,OWIEP}^{rel}} = \frac{18,51 \text{ Mio. €}}{6,62 \text{ Mio. €}} = 2,79^{320}$$

- *ERANPV* - Wellen

$$ERANPV_{0,05,WEEP} = 2,97$$

- *ERANPV* - Meeresströmungen

$$ERANPV_{0,05,MSEP} = 3,10$$

³¹⁹ Die Berechnungen in diesem Abschnitt können anhand des Arbeitsblatts „Fallbeispiel Gesamtergebnisse“ im Anhang zu dieser Inauguraldissertation detailliert nachvollzogen werden.

³²⁰ Ergebnis gemäß Anhang zur Inauguraldissertation. Abweichung ergibt sich aus Rundungsdifferenzen.

Bei Gültigkeit der Teilprojektbedingung des Offshore-Energieparkgesamtprojekts in Bezug auf die einzelnen Energieparkprojekte berechnete sich der erweiterte, risikoadjustierte Kapitalwert des Investitionsprojektportefeuilles zum Zeitpunkt t_0 wie folgt:

- *ERANPV* - Investitionsprojektportefeuille - allgemein

$$ERANPV_{\alpha,IPP} = \frac{\sum_{n=1}^N ENPV_n}{DRV_{\alpha,IPP}^{rel}}$$

- *ERANPV* - Offshore-Energiepark - Beispiel

$$ERANPV_{\alpha,OEP} = \frac{\sum_{n=1}^N ENPV_n}{DRV_{\alpha,OEP}^{rel}}$$

$$ERANPV_{0,05,OEP} = \frac{ENPV_{OWIEP} + ENPV_{WEEP} + ENPV_{MSEP}}{DRV_{0,05,OEP}^{rel}} =$$

$$= \frac{18,51 \text{ Mio. €} + 21,83 \text{ Mio. €} + 25,27 \text{ Mio. €}}{12,82 \text{ Mio. €}} = \mathbf{5,12}$$

Die Investitionsprojektrangfolgen der analysierten Anlagentechnologien werden auf der Grundlage der Steuerungskennzahlen *NPV*, *RANPV* und *ERANPV* ermittelt. Auf der Basis des Rangfolgenvergleichs erfolgt die Empfehlung zur Durchführung des unter den definierten Rahmenbedingungen optimalen Investitionsprojekts an den Vorstand, wobei die Rangfolge gemäß *ERANPV* die beiden anderen Rangfolgen dominiert. Die Entscheidung für den *ERANPV* als Spitzenkennzahl zur Bewertung dieser Investitionsprojekte folgt aus der Tatsache, dass der *ERANPV* im Gegensatz zum *NPV* und *RANPV* alle entscheidungsrelevanten Erfolgsfaktoren (Ertrag, Flexibilität, Risiko) mit einbezieht. Durch die Erweiterung des *RANPV* um die Flexibilität wird eine neue Entwicklungsstufe der risikoadjustierten Performancekennzahlen bei Nichtfinanzunternehmen erreicht. In der nachfolgenden Übersicht werden die Investitionsprojektkennzahlen je Anlagentechnologie zusammenfassend gegenübergestellt. Auf diese Weise erhält der Vorstand vollständige Transparenz über die relative Vorteilhaftigkeit der zur Entscheidung vorgelegten Investitionsprojekte.

	<u>OWIEP</u>	<u>WEEP</u>	<u>MSEP</u>
<u>Kapitalwert - NPV [Mio. €]</u>	18,41	13,81	18,08
<u>Risikoadjustierter Kapitalwert - RANPV</u>	2,78	1,88	2,22
<u>Erweiterter, risikoadjustierter Kapitalwert - ERANPV</u>	2,79	2,97	3,10

Abb. 7-10: Vergleich der Investitionsprojektkennzahlen.

Quelle: Eigene Darstellung.

Aus diesem Vergleich der anlagentechnologiespezifischen Investitionsprojektkennzahlen ergibt sich die Investitionsprojektrangfolge je Investitionsprojektkennzahl.

	<u>OWIEP</u>	<u>WEEP</u>	<u>MSEP</u>
<u>Investitionsprojektrangfolge gemäß NPV</u>	1	3	2
<u>Investitionsprojektrangfolge gemäß RANPV</u>	1	3	2
<u>Investitionsprojektrangfolge gemäß ERANPV</u>	3	2	1

Abb. 7-11: Vergleich der Investitionsprojektrangfolgen.

Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der Annahme der Unteilbarkeit der analysierten Investitionsprojekte und der Budgetrestriktion in Höhe von 120,00 Mio. € muss sich der Vorstand für die Durchführung eines Investitionsprojekts entscheiden. Mit dem NPV als Spitzenkennzahl wäre das Offshore-Windenergieprojekt (Rang 1) dem Meeresströmungsenergieprojekt (Rang 2) und dem Wellenenergieprojekt (Rang 3) vorzuziehen. Die Berücksichtigung des Risikos in Form des RANPV hat zunächst keine Auswirkung auf diese Investitionsprojektrangfolge und damit die Empfehlung an den Vorstand. Die zusätzliche Einbeziehung der Flexibilität ändert die Investitionsprojektrangfolge jedoch grundlegend und zeigt, dass gemäß ERANPV das Meeresströmungsenergieprojekt (Rang 1) den beiden Konkurrenzprojekten Wellenenergieprojekt (Rang 2) und Offshore-Windenergieprojekt (Rang 3) im Hinblick auf den Gesamtwert überlegen ist. Infolgedessen empfiehlt das Projektteam dem Vorstand die Durchführung des Meeresströmungsenergieprojekts. Dabei ist zu beachten, dass für

die Investitionsprojektentscheidung oftmals neben den Ergebnissen der Investitionsbewertung auch noch andere strategische Überlegungen von Bedeutung sind, die dazu führen können, dass die Entscheidung von der Handlungsempfehlung abweicht.

8. Fazit und Ausblick

Den Ausgangspunkt der Betrachtungen zum Thema der Integration des Realloptionsansatzes in die risikoadjustierte Investitionsbewertung bei Nichtfinanzunternehmen bildete die fehlende Berücksichtigung der Risiko- und Flexibilitätsdimension im Entscheidungsprozess. Es sollte eine umfassende, integrierte Spitzenkennzahl und ein auf diese abgestimmtes, nachvollziehbares Modell entwickelt werden, das es den Entscheidern in Unternehmen ermöglicht, neben dem Projektertrag auch das Projektrisiko und die Projektflexibilität zu berücksichtigen. Die Maßgabe einer hohen Implementierbarkeit des Modells, um dessen Akzeptanz, Diffusion und Weiterentwicklung bei Nichtfinanzunternehmen zu gewährleisten, stellte dabei eine zusätzliche Herausforderung dar.

Im Verlauf der Untersuchung wurden zunächst die theoretischen Grundlagen für eine erweiterte, risikoadjustierte Investitionsbewertung bei Nichtfinanzunternehmen mit dem *ERANPV* als Spitzenkennzahl gelegt. Der modulare Aufbau des *ERANPV* determinierte dabei die Struktur der Ausführungen. Durch diese Herangehensweise sollte die Komplexität reduziert und das Verständnis sowie die Anwendbarkeit im Unternehmenskontext erleichtert werden. Der *ERANPV* kann als Ergebnis der Bestrebungen zur ganzheitlichen Bewertung von Investitionsprojekten bei Nichtfinanzunternehmen angesehen werden. In dieser erweiterten, risikoadjustierten Performancekennzahl werden die Erkenntnisse und Ergebnisse des Kapitalwertansatzes, der Realloptionstheorie und der Risikoanalyse miteinander verknüpft und in einen neuen Bedeutungszusammenhang gestellt. Die Handlungsflexibilität wird erstmalig in die risikoadjustierte Investitionsbewertung bei Nichtfinanzunternehmen mit einbezogen und auf diese Weise zu einer kalkulierbaren und damit planbaren Größe. Durch die Aggregation zu einer Performancekennzahl ermöglicht der *ERANPV* darüber hinaus die Vergleichbarkeit einzelner Investitionsprojekte sowie umfassender Investitionsprojektportefeuilles und wird dadurch zum Maß für deren (relative) Vorteilhaftigkeit. Die operative Anwendbarkeit des *ERANPV* als Grundvoraussetzung für die Implementierung bei Nichtfinanzunternehmen zeigt sich in der Geschlossenheit des praxisnahen Fallbeispiels. Dem Vorstand des fiktiven Unternehmens kann trotz der Komplexität der Entscheidung eine

eindeutige Handlungsempfehlung gegeben werden, welches Investitionsprojekt unter Ertrags-, Risiko- und Flexibilitäts Gesichtspunkten den höchsten Wert für das Unternehmen besitzt.

Die Konzeption und Ausgestaltung des *ERANPV* ermöglicht eine beliebige Erweiterung und weitergehende Ausdifferenzierung des Modells und damit der Performancekennzahl. Die wesentlichen Ansätze zur Verfeinerung des Modells und zur möglichen Verbesserung der Ergebnisgenauigkeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- (Historische) Simulation stetiger Zahlungsströme
- (Historische) Simulation der Risikofaktoren
- Berücksichtigung und Modellierung weiterer Realoptionen
- Kontinuierliche Anpassung der Inputparameter des Modells auf der Grundlage von Budgetaktualisierungen (revolvierende Planung)
- Verwendung eines investitionsprojektabhängigen und/oder zeitperiodenabhängigen risikolosen Zinssatzes

Bei der Umsetzung dieser Maßnahmen ist zu bedenken, dass mit steigendem Differenzierungsgrad die Komplexität des Gesamtmodells überproportional zunimmt. Den Nichtfinanzunternehmen, die sich für die Anwendung des *ERANPV* als Spitzenkennzahl zur Bewertung und Steuerung von Investitionsprojekten entscheiden, bieten sich vielfältige Einsatz- und Entwicklungsmöglichkeiten, wobei die Anwendungsgebiete von der Energie- über die Erdöl- bis hin zur Pharma- und Automobilindustrie reichen.

F. Anhang

Den Anhang zu dieser Inauguraldissertation bildet das in Microsoft Excel umgesetzte und auf der beiliegenden CD-ROM abgespeicherte Bewertungsmodell. An den entsprechenden Stellen im Text wird auf das korrespondierende Arbeitsblatt innerhalb des Modells direkt verwiesen. Dadurch wird es dem Leser ermöglicht, die einzelnen Berechnungsschritte detailliert nachzuvollziehen. Durch die parallele Beschäftigung mit Text und Modell soll zum einen die Komplexität der Dissertation reduziert werden und zum anderen die praktische Umsetzbarkeit der Ergebnisse verdeutlicht werden.

G. Literaturverzeichnis

- Angermüller, N. O. / Eichhorn, M. / Ramke, T. (2006):** *Lower Partial Moments: Alternative oder Ergänzung zum Value at Risk?*, in: Finanz Betrieb, 8. Jhrg., H. 3, S. 149-153.
- Artzner, P. / Delbaen, F. / Eber, J.-M. / Heath, D. (1998):** *Coherent Measures of Risk*, Working Paper, Straßburg et al.
- Artzner, P. / Delbaen, F. / Eber, J.-M. / Heath, D. (1999):** *Coherent Measures of Risk*, in: Mathematical Finance, 9. Jhrg., H. 3, S. 203-228.
- Biermann, B. (2002):** *Modernes Risikomanagement in Banken*, in: Eller, R. / Gruber, W. / Reif, M. (Hrsg.): *Handbuch des Risikomanagements: Analyse, Quantifizierung und Steuerung von Markt-, Kredit- und operationellen Risiken*, 2. Aufl., Stuttgart, S. 103-126.
- Black, F. / Scholes, M. (1973):** *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*, in: The Journal of Political Economy, 81. Jhrg., H. 3, S. 637-654.
- Bucher, M. / Marbacher, S. / Mondello, E. (2002):** *Unternehmensbewertung mit Realoptionen - Umdenken in der Risikoauffassung bei Unternehmensbewertungen - Eurotunnel als Beispiel*, in: Der Schweizer Treuhänder, 76. Jhrg., H. 9, S. 779-786.
- Copeland, T. / Koller, T. / Murrin, J. (2002):** *Unternehmenswert - Methoden und Strategien für eine wertorientierte Unternehmensführung*, 3. Aufl., Frankfurt am Main et al.
- Copeland, T. / Tufano, P. (2004):** *Komplexe Entscheidungen leicht gemacht*, in: Harvard Business Manager, 26. Jhrg., H. 6, S. 74-87.
- Cottin, C. / Döhler, S. (2009):** *Risikoanalyse: Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen*, Wiesbaden.
- Cox, J. C. / Ross, S. A. / Rubenstein, M. (1979):** *Option Pricing: A Simplified Approach*, in: Journal of Financial Economics, 7. Jhrg., H. 3, S. 229-263.

- Döring, U. / Wöhe, G. (2005):** *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 22. Aufl., München.
- Entrop, O. / Scholz, H. / Wilkens, M. (2004):** *Performancemessung und Kapitalallokation im Handelsbereich einer Bank - Zur Marktphasenabhängigkeit von RORAC und RAROC*, Working Paper, Ingolstadt.
- Ernst, D. / Thümmel, R. C. (2000):** *Realoptionen zur Strukturierung von M&A-Transaktionen*, in: *Finanz Betrieb*, 2. Jhrg., H. 11, S. 665-673.
- Ernst & Young LLP (2007):** *Impact of banding the Renewables Obligation - Costs of electricity*, Vergleichsstudie im Auftrag des Department of Trade & Industry, New York.
- Fama, E. F. / French, K. R. (2004):** *The Capital Asset Pricing Model: Theory and Evidence*, in: *Journal of Economic Perspectives*, 18. Jhrg., H. 3, S. 25-46.
- Fraenkel, P. L. (2004):** *Marine Current Turbines: an emerging technology*, Working Paper, Scottish Hydraulics Study Group Seminar, Glasgow.
- Frommeyer, J. / Merbecks, A. / Stegemann, U. (2004):** *Intelligentes Risikomanagement: Das Unvorhersehbare meistern*, Frankfurt am Main et al.
- Fröhling, O. (2000):** *Reward and Risk-Controlling*, in: *Controlling*, 12. Jhrg., H. 1, S. 5-13.
- Gackstatter, S. / Hassan, A. / Riemann, A. / Stein, A. (2001):** *Wenn F+E-Projekte wie strategische Optionen bewertet werden*, in: *Harvard Business Manager*, 23. Jhrg., H. 2, S. 49-58.
- Gebhard, G. / Mansch, H. (2005):** *Wertorientierte Unternehmenssteuerung in Theorie und Praxis*, in: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Sonderheft 53, Düsseldorf et al.

- Gillenkirch, R. M. / Kropp, M. (2004):** *Controlling von Finanzrisiken in Industrieunternehmen*, in: Zeitschrift für Controlling & Management, 48. Jhrg., Sonderheft 3, S. 86-96.
- Gleißner, W. (2002):** *Wertorientierte Analyse der Unternehmensplanung auf Basis des Risikomanagements*, in: Finanz Betrieb, 4. Jhrg., H. 7-8, S. 417-427.
- Gleißner, W. (2004):** *Die Aggregation von Risiken im Kontext der Unternehmensplanung*, in: Zeitschrift für Controlling & Management, 48. Jhrg., H. 5, S. 350-359.
- Gruber, R. (2009):** *Sauber und umweltschonend - Wälzlager für Strömungskraftwerke*, in: Antriebstechnik, 17. Jhrg., H. 6, S. 40-41.
- Hager, P. (2004):** *Value at Risk und Cash Flow at Risk in Unternehmen*, Dissertation, Universität Siegen.
- Hager, P. (o. J.):** *Varianz-Kovarianz-Modell*, elektronisch veröffentlicht unter der URL: http://www.risknet.de/fileadmin/template_risknet/images_content/Methoden/VaR-Verfahren_RiskNET.pdf, abgerufen am 11.02.2012.
- Hager, P. / Wiedemann, A. (2003):** *Messung finanzieller Risiken mit Cash-Flow at-Risk / Earnings-at-Risk-Verfahren*, in: Romeike, F. / Finke, R. B. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Risiko-Management*, Wiesbaden, S. 217-233.
- Hardisty, J. (2009):** *The Analysis of Tidal Stream Power*, Hoboken.
- Heinen, E. (1992):** *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre*, 9. Aufl., Wiesbaden.
- Herzog, W. / Lutz, A. (2005):** *Kapitalsteuerung in der Finanzwirtschaft - Aufsichtsrechtliche Anforderungen und wertorientierte Unternehmenssteuerung*, in: Finanz Betrieb, 7. Jhrg., H. 12, S. 765-773.
- Hoitsch, H.-J. / Winter, P. (2004):** *Die Cash Flow at Risk-Methode als Instrument eines integriert-holistischen Risikomanagements*, in: Zeitschrift für Controlling & Management, 48. Jhrg., H. 4, S. 235-246.

- Homburg, C. / Stephan, J. (2004):** *Kennzahlenbasiertes Risikocontrolling in Industrie- und Handelsunternehmen*, in: Zeitschrift für Controlling & Management, 48. Jhrg., H. 5, S. 313-325.
- Hommel, U. / Müller, J. (1999):** *Realloptionsbasierte Investitionsbewertung*, in: Finanz Betrieb, 1. Jhrg., H. 8, S. 177-188.
- Hommel, U. / Pritsch, G. (1999a):** *Investitionsbewertung und Unternehmensführung mit dem Realloptionsansatz*, in: Achleitner, A.-K. (Hrsg.): Handbuch Corporate Finance, 4. Ergänzungslieferung, Köln, S. 1-67.
- Hommel, U. / Pritsch, G. (1999b):** *Marktorientierte Investitionsbewertung mit dem Realloptionsansatz: Ein Implementierungsleitfaden für die Praxis*, in: Finanzmarkt und Portfolio Management, 13. Jhrg., H. 2, S. 121-144.
- Huchzermeier, A. / Spinler, S. (2004):** *Realloptionen: Eine marktbasierende Bewertungsmethodik für dynamische Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit*, in: Zeitschrift für Controlling & Management, 47. Jhrg., Sonderheft 1: Investitionscontrolling, S. 66-71.
- Hull, J. C. (2009):** *Optionen, Futures und andere Derivate*, 7. Aufl., München.
- Jensen, M. C. (1968):** *The Performance of Mutual Funds in the Period 1945-1964*, in: Journal of Finance, 23. Jhrg., H. 2, S. 389-416.
- Jorion, P. (2001):** *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*, 2. Aufl., New York et al.
- Kaufmann, L. / Ridder, C. (2003):** *Bewertung von Biotechnologie-Unternehmen - Der Individual Risk-adjusted Net Present Value-Ansatz und weitere Ansätze zur Verbesserung des DCF-Verfahrens* -, in: Finanz Betrieb, 5. Jhrg., H. 7-8, S. 448-456.
- Kirmße, S. (2001):** *Gesamtbankorientierte Kreditrisikosteuerung*, in: Rolfes, B. / Schierenbeck, H. / Schüller, S. (Hrsg.): Handbuch Bankcontrolling, 2. Aufl., Wiesbaden, S. 1015-1035.

- Kruschwitz, L. (2005):** *Investitionsrechnung*, 10. Aufl., München et al.
- Lintner, J. (1965):** *The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets*, in: *Review of Economics and Statistics*, 47. Jhrg., H. 1, 13-37.
- Lister, M. (1997):** *Risikoadjustierte Ergebnismessung und Risikokapitalallokation*, in: Rolfes, B. / Schierenbeck, H. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Zentrums für Ertragsorientiertes Bankmanagement*, Band 12, Frankfurt am Main.
- Maier, D. A. (2001):** *Der Betafaktor in der Unternehmensbewertung*, in: *Finanz Betrieb*, 3. Jhrg., H. 5, S. 298-302.
- Marine Current Turbines Ltd. (o. J.):** *The SeaGen Turbine*, Produktbeschreibung, elektronisch veröffentlicht unter der URL: <http://www.seageneration.co.uk/downloads/recent/General%20Documents/Seagen%20Facts%20EXTERNAL%202.pdf>, abgerufen am 03.03.2012.
- Markowitz, H. (1952):** *The Journal of Finance*, 7. Jhrg., H. 1, S. 77-91.
- Meyer, F. (2004):** *Seaflow - Strom aus Meeresströmungen*, in: *Projektinfo*, 6. Jhrg., H. 4, S. 1-4.
- Mittag, H. / Rinne, H. (1995):** *Statistische Methoden der Qualitätssicherung*, 3. Aufl., München et al.
- Mitschele, A. (2009):** *Intelligente Methoden im Integrierten Risikomanagement*, Karlsruhe.
- Mossin, J. (1966):** *Equilibrium in a Capital Asset Market*, in: *Econometrica*, 34. Jhrg., H. 4, 768-783.
- Mostowfi, M. (2000):** *Bewertung von Unternehmensakquisitionen unter Berücksichtigung von Realoptionen*, Frankfurt am Main et al.
- Mun, J. (2002):** *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*, Hoboken.

- Ocean Power Technologies Inc. (2011):** *Firmenpräsentation* anlässlich der National Hydropower Association Annual Conference, elektronisch veröffentlicht unter der URL: http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=155437&p=irol_speakerships, abgerufen am 28.02.2012.
- Paul, S. (2001):** *Risikoadjustierte Gesamtbanksteuerung und Risikokapitalallokation*, in: Rolfes, B. / Schierenbeck, H. / Schüller, S. (Hrsg.): *Handbuch Bankcontrolling*, 2. Aufl., Wiesbaden, S. 1105-1124.
- Perridon, L. / Steiner, M. (2007):** *Finanzwirtschaft der Unternehmung*, 14. Aufl., München.
- Pfennig, M. (2000):** *Shareholder Value durch unternehmensweites Risikomanagement*, in: Johanning, L. / Rudolph, B. (Hrsg.): *Handbuch Risikomanagement, Risikomanagement in Banken, Asset-Management-Gesellschaften, Versicherungs- und Industrieunternehmen*, Bad Soden, S. 1295-1332.
- Rams, A. (1999):** *Realloptionsbasierte Unternehmensbewertung*, in: *Finanz Betrieb*, 1. Jhr., H. 11, 349-364.
- Rolfes, B. (2003):** *Moderne Investitionsrechnung*, 3. Aufl., München.
- Romeike, F. (2003):** *Bewertung und Aggregation von Risiken*, in: Romeike, F. / Finke, R. B. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Risiko-Management*, Wiesbaden, S. 183-198.
- Saita, F. (1999):** *Allocation of Risk Capital in Financial Institutions*, in: *Financial Management*, 28. Jhr., H. 3, S. 95-111.
- Sandmann, K. (2000):** *Einführung in die Stochastik der Finanzmärkte*, 2. Aufl., Berlin et al.
- Scherpereel, P. (2006):** *Risikoallokation in dezentral organisierten Unternehmen*, Wiesbaden.

- Schierenbeck, H. (2001):** *Risikokalküle im Ertragsorientierten Bankmanagement*, in: Rolfes, B. / Schierenbeck, H. / Schüller, S. (Hrsg.): *Handbuch Bankcontrolling*, 2. Aufl., Wiesbaden, S. 717-731.
- Schierenbeck, H. (2003):** *Ertragsorientiertes Bankmanagement*, Band 2: Risiko-Controlling und integrierte Rendite-/Risikosteuerung, 8. Aufl., Wiesbaden.
- Schmeisser, W. (2010):** *Corporate Finance und Risk Management*, München.
- Scholz, H. / Wilkens, M. (1999):** *Von der Treynor-Ratio zur Market Risk-Adjusted Performance - Zusammenfassung und Diskussion grundlegender Performancemaße*, in: *Finanz Betrieb*, 1. Jhrg., H. 10, S. 308-315.
- Schröck, G. (1997):** *Risiko- und Wertmanagement in Banken: Der Einsatz risikobereinigter Rentabilitätskennzahlen*, Wiesbaden.
- Schröder, M. (1999):** *Messung des Marktrisikos von Kapitalanlagen*, in: *Finanz Betrieb*, 1. Jhrg., H. 11, S. 383-388.
- Segelmann, F. (1959):** *Industrielle Risikopolitik*, Berlin.
- Sharpe, W. F. (1964):** *Capital Asset Prices - A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk*, in: *Journal of Finance*, 19. Jhrg., H. 3, S. 425-442.
- Sharpe, W. F. (1966):** *Mutual Fund Performance*, in: *Journal of Business*, 39. Jhrg., H. 1, S. 119-138.
- Stegemann, U. (2001):** *Risikoorientiertes Wertmanagement bei deutschen börsennotierten Universalbanken*, Hamburg.
- Steiner, P. / Uhler, H. (2001):** *Wertpapieranalyse*, 4. Aufl., Heidelberg.
- Stephan, J. (2006):** *Finanzielle Kennzahlen für Industrie- und Handelsunternehmen: Eine wert- und risikoorientierte Perspektive*, Wiesbaden.
- ter Horst, K. W. (2009):** *Investition*, Stuttgart.

Treynor, J. L. (1965): *How to Rate Management of Investment Funds*, in: Harvard Business Review, 43. Jhrg., H. 1, S. 63-75.

Trigeorgis, L. (1996): *Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, 6. Aufl., Cambridge.

Vestas Wind Systems A/S (o. J.): *V112-3.0 MW Offshore*, Produktbroschüre, elektronisch veröffentlicht unter der URL: <http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/V11230MW/V11230MWOffshoreUK/>, abgerufen am 28.02.2012.

Wolke, T. (2008): *Risikomanagement*, 2. Aufl., München.

H. Bildmaterialverzeichnis

Einzelinstallation Meeresströmungen

Elektronisch veröffentlicht unter der URL: http://thefraserdomain.ty-pepad.com/photos/uncategorized/2007/06/26/mct_seagen_pile_mounted_twin_roto_2.jpg, abgerufen am 23.02.2012.

Einzelinstallation Offshore-Wind

Elektronisch veröffentlicht unter der URL: http://www.vestas.com/files/bilder/Photos/Offshore/artikelstorV112_offshore2.jpg, abgerufen am 23.02.2012.

Einzelinstallation Wellen

Elektronisch veröffentlicht unter der URL: http://www.rechargenews.com/multimedia/archive/00033/OPTpowerbuoy_33717b.jpg, abgerufen am 23.02.2012.

Energieparkinstallation Meeresströmungen

Elektronisch veröffentlicht unter der URL: http://assets.knowledge.allianz.com/img/seagen_grafik_funktion_q_35545.jpg, abgerufen am 23.02.2012.

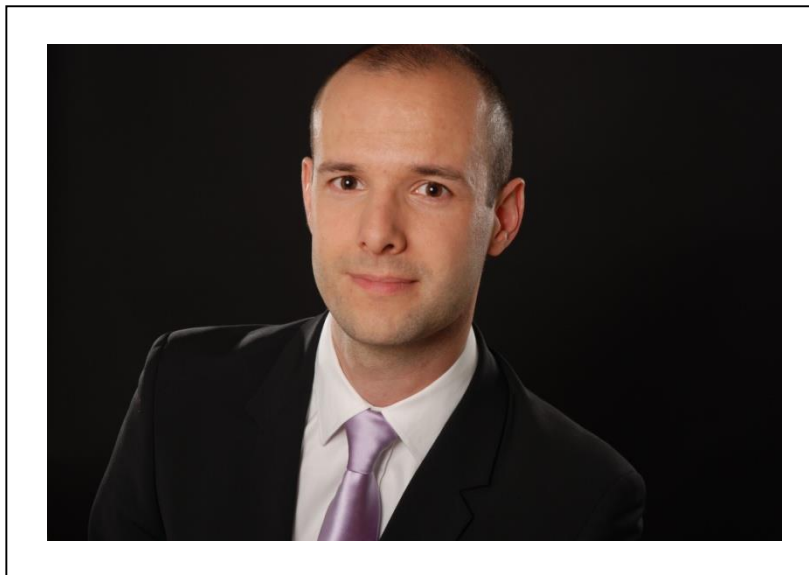
Energieparkinstallation Offshore-Wind

Elektronisch veröffentlicht unter der URL: <http://scitizen.com/cacheDirectory/HTMLcontributions/img/offshore.jpg>, abgerufen am 23.02.2012.

Energieparkinstallation Wellen

Elektronisch veröffentlicht unter der URL: <http://www.oceanpowertechnologies.com/global.htm>, abgerufen am 23.02.2012.

I. Lebenslauf - Heiko Hildebrandt



Person

Geburtsjahr	1981
Geburtsort	Herne, Deutschland
Nationalität	Deutsch
Familienstand	Ledig
Adresse in DE	Fährstr. 84 21107 Hamburg
Tel. in DE	+49 (0)176 609 411 56
E-Mail	hildebrandt.heiko@gmail.com

Arbeitserfahrung und Praktika

03/2013 –	TRADETRACKER INTERNATIONAL (Internet) Almere, Niederlande
	➤ Chief Operating Officer (COO)

- 08/2012 – **TRADETRACKER DEUTSCHLAND** (Internet)
Hamburg, Deutschland
- Geschäftsführer Deutschland - Schweiz
- 12/2010 – 08/2012 **TRADETRACKER DEUTSCHLAND** (Internet)
Hamburg, Deutschland
- Geschäftsführer Deutschland
- 09/2009 – 11/2010 **ACCOUNTOR GROUP** (Finanzdienstleistungen)
Bornheim, Deutschland
- Geschäftsführer Deutschland
- 09/2007 – 09/2009 **ACCOUNTOR GROUP** (Finanzdienstleistungen)
Helsinki, Finnland
- Business Development Manager
- 06/2007 – 08/2007 **ACCOUNTOR GROUP** (Finanzdienstleistungen)
Helsinki, Finnland
- Internationaler Trainee
- 11/2006 – 05/2007 **VOLKSWAGEN CONSULTING** (Automobilindustrie)
Wolfsburg, Deutschland
- (Selbständiger) Unternehmensberater im Bereich F&E
- 04/2006 – 09/2006 **BMW GROUP** (Automobilindustrie)
München, Deutschland
- Diplomand im Bereich Risikomanagement
 - Thema der Diplomarbeit: Realoptionen als Ansatz zur dynamischen Investitionsbewertung
 - Gesamtnote: 1,0
- 08/2005 – 11/2005 **KPMG** (Wirtschaftsprüfung)

Frankfurt, Deutschland

- Praktikant im Bereich Business Performance Services

02/2004 – 03/2004 **FAURECIA** (Automobilindustrie)

Neuburg, Deutschland

- Praktikant im Bereich Production System Efficiency

07/2003 – 09/2003 **HELLWEG** (Baumärkte)

Dortmund, Deutschland

- Praktikant in den Bereichen Marketing und Rechnungswesen

07/2001 – 04/2002 **WEHRDIENST**

Ausbildung

11/2006 – 07/2012 **KATHOLISCHE UNIVERSITÄT EICHSTÄTT-IN-GOLSTADT**

Ingolstadt, Deutschland

- Externe Promotion
- Gesamtnote: summa cum laude

10/2002 – 09/2006 **KATHOLISCHE UNIVERSITÄT EICHSTÄTT-IN-GOLSTADT**

Ingolstadt, Deutschland

1. Diplom-Betriebswirt (MBA)
 2. Studienschwerpunkte
 1. Produktion und Logistik
 2. Controlling und Unternehmensrechnung
 3. Dienstleistungsmanagement
- Gesamtnote: 1,63

07/2004 – 12/2004 **UNIVERSIDAD DEL SALVADOR (USAL)**

Buenos Aires, Argentinien

➤ Auslandsstudium

09/1992 – 06/2001 **PESTALOZZI GYMNASIUM**

Herne, Deutschland

➤ Bilinguales Abitur (Deutsch - Englisch)

➤ Gesamtnote: 1,1

Sprachkenntnisse

Deutsch verhandlungssicher (Muttersprache)

Englisch verhandlungssicher

Spanisch fließend

Schwedisch Grundkenntnisse

Sonstige Interessen

Laufen

Badminton

Lesen