

Schriftenreihe
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Claus Lucke

Investitionsprojekte
mit mehreren Realoptionen
– Bewertung und Analyse

Verlag Wissenschaft & Praxis



Investitionsprojekte mit mehreren Realoptionen

**Schriftenreihe Wirtschafts- und
Sozialwissenschaften**

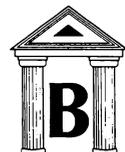
Band 46

Claus Lucke

Investitionsprojekte mit mehreren Realoptionen

– Bewertung und Analyse

Verlag Wissenschaft & Praxis



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Lucke, Claus :

Investitionsprojekte mit mehreren Realoptionen : Bewertung und Analyse / Claus Lucke.

– Sternenfels : Verl. Wiss. und Praxis, 2001

(Schriftenreihe Wirtschafts- und Sozialwissenschaften ; Bd. 46)

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2000

ISBN 3-89673-126-2

ISBN 3-89673-126-2

© Verlag Wissenschaft & Praxis

Dr. Brauner GmbH 2001

Nußbaumweg 6, D-75447 Sternenfels

Tel. 07045/930093 Fax 07045/930094

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Printed in Germany

Vorwort

Die Ursprünge der vorliegenden Arbeit reichen zurück bis zum Anfang meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Angestellter der Universität Karlsruhe (TH), als mein späterer Doktorvater, Herr Professor Dr. Göppl, mir die Möglichkeit bot, eine Vorlesung zum Themenbereich Realoptionen auszuarbeiten. Nach anfänglicher Skepsis hat mich dieses Gebiet so stark fasziniert, dass es zum Thema meiner Forschung wurde. Neben einigen Diskussionspapieren ist daraus die vorliegende Arbeit entstanden, die von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Karlsruhe (TH) Ende 2000 als Dissertation angenommen wurde.

Mein Dank gilt an erster Stelle meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Hermann Göppl, der mich auf dieses interessante Forschungsgebiet aufmerksam gemacht hat. Dank schulde ich ihm außerdem für die immer gute Zusammenarbeit, insbesondere auch während der Betreuung meiner Arbeit. Herrn Professor Dr. Svetlozar Rachev danke ich für die Übernahme des Korreferats. Für zahlreiche wertvolle Anregungen, die zur Verbesserung der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, danke ich sowohl Herrn Professor Dr. Göppl als auch Herrn Professor Dr. Rachev. Ferner bedanke ich mich bei meinem Prüfer in der mündlichen Doktorprüfung, Herrn Professor Dr. Christian Hipp.

Besonderer Dank gilt meinen Freunden Dr. Ralf Herrmann und Martin Wilhelm sowie meinen Kollegen am Institut für Entscheidungstheorie und Unternehmensforschung der Universität Karlsruhe (TH) für die kollegiale Zusammenarbeit und Unterstützung.

Karlsruhe, im April 2001

”Dr. Ulu”

Die Theorie der Realoptionen hat es sich zur Aufgabe gemacht, flexible Handlungsmöglichkeiten und strategische Entscheidungen, die das Management während der Lebensdauer eines Investitionsprojekts treffen muss, zu modellieren und in die Bewertung von Investitionsprojekten einzubeziehen. Häufig treten in Verbindung mit einem Investitionsprojekt mehrere flexible Handlungsmöglichkeiten (Realoptionen) gleichzeitig auf, die in ein Gesamtmodell zur Bewertung des Projekts integriert werden müssen. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit sich diese verschiedenen Typen flexibler Handlungsmöglichkeiten gegenseitig beeinflussen und wann es optimal ist, die entsprechenden Handlungen (z.B. Abbruch des Investitionsprojekts) vorzunehmen. Diese Frage ist Gegenstand des vorliegenden Buches.

Nach einer kurzen Einführung in das Gebiet der Realoptionen werden aus der Optionspreistheorie stammende Methoden zur Bewertung von Realoptionen dargestellt. Mit Hilfe dieser Methoden werden Bewertungsmodelle für ein fiktives Investitionsprojekt mit bis zu vier flexiblen Handlungsmöglichkeiten abgeleitet, gleichzeitig werden die optimalen Handlungsempfehlungen bestimmt. Die Auswirkungen verschiedener flexibler Handlungsmöglichkeiten auf die Investitions- und Abbruchentscheidung werden analysiert. Ferner wird untersucht wie sensitiv die optimale Investitionsstrategie auf wichtige ökonomische Größen wie die Unsicherheit und den risikolosen Zins reagiert, wenn mit dem Projekt unterschiedliche Kombinationen der flexiblen Handlungsmöglichkeiten verbunden sind. Bewertungsfehler, die auftreten, wenn manche der flexiblen Handlungsmöglichkeiten unberücksichtigt bleiben, werden quantifiziert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Realloptionen: Eine kurze Einführung	7
2.1	Der Begriff der Realoption in der Literatur	7
2.2	Arten von Realoptionen	9
2.2.1	Option zu warten	9
2.2.2	Mehrstufige Projekte	13
2.2.3	Abbruchoption	16
2.2.4	Option der vorübergehenden Stilllegung	17
2.2.5	Erweiterungs- und Einschränkungsoption	23
2.2.6	Switching Option	27
2.3	Interdependente Realoptionen	29
2.3.1	Die Studie von Trigeorgis	30
2.3.2	Die Studie von Kulatilaka	36
2.3.2.1	Ein allgemeines Modell zur Bewertung von interde- pendenten Realoptionen	36
2.3.2.2	Anwendung auf ein Projekt mit mehreren Realoptio- nen	38
2.3.3	Die Studie von Rose	41
2.4	Anwendungsbeispiele	44
2.4.1	Bewertung von Investitionen im Rohstoffbereich	44

2.4.2	Bewertung von flexiblen Fertigungssystemen	44
2.4.3	Bewertung von unbebauten Grundstücken	46
2.5	Neuere Ansätze – die Modellierung von Konkurrenz	48
2.6	Zusammenfassung	54
3	Bewertungsmethoden für Realloptionen	55
3.1	Duplikation	56
3.2	Bewertung amerikanischer Optionen	65
3.2.1	Amerikanische Optionen und optimales Stoppen	65
3.2.2	Das zeithomogene optimale Stoppproblem	68
3.2.3	Lösung des zeithomogenen optimalen Stoppproblems mit dem Konzept der superharmonischen Majoranten	72
3.2.4	Lösung des zeithomogenen optimalen Stoppproblems mit der Smooth Pasting Condition	77
3.2.5	Anwendung auf eine konkrete Problemstellung	87
3.2.5.1	Das optimale Stoppproblem bei Vorliegen einer geo- metrischen Brownschen Bewegung	87
3.2.5.2	Zusammenfassung	94
4	Projekte mit mehreren Realloptionen	95
4.1	Einführung	95
4.2	Der allgemeine Modellaufbau	96
4.3	Berücksichtigung einer Realloption	105
4.3.1	Die Option zu warten	105
4.3.2	Die Option, mit Stufe 2 zu warten	107
4.3.3	Die Option, das fertiggestellte Projekt vorübergehend stillzu- legen	114
4.3.4	Die Option, das fertiggestellte Projekt abzubrechen	119
4.4	Berücksichtigung von zwei Realloptionen	124
4.4.1	Option zu warten / Option, mit Stufe 2 zu warten	125

4.4.2	Option zu warten / Option, vorübergehend stillzulegen	128
4.4.3	Option zu warten / Option abzurechnen	134
4.4.4	Option, mit Stufe 2 zu warten / Option, vorübergehend still- zulegen	138
4.4.5	Option, mit Stufe 2 zu warten / Option abzurechnen	143
4.4.6	Option, vorübergehend stillzulegen / Option abzurechnen . . .	149
4.5	Berücksichtigung von drei Realloptionen	154
4.5.1	Option zu warten / Option, mit Stufe 2 zu warten / Option, vorübergehend zu schließen	155
4.5.2	Option zu warten / Option, mit Stufe 2 zu warten / Option abzurechnen	158
4.5.3	Option zu warten / Option, vorübergehend zu schließen / Op- tion abzurechnen	165
4.5.4	Option, mit Stufe 2 zu warten / Option vorübergehend zu schließen / Option abzurechnen	175
4.6	Berücksichtigung aller vier Realloptionen	182
4.7	Interaktionsstudie	189
4.7.1	Allgemeine analytische Ergebnisse für die Trigger	189
4.7.1.1	Abbruchtrigger	189
4.7.1.2	Trigger für Stufe 2	197
4.7.1.3	Trigger für Stufe 1	207
4.7.2	Nummerische Ergebnisse für die Basisfallparametrisierung . .	210
4.7.3	Einfluss der Unsicherheit auf die Investitionsentscheidung . . .	220
4.7.4	Einfluss des risikolosen Zinses auf die Investitionsentscheidung	229
4.7.5	Fehlbewertung bei Vernachlässigung einzelner Realloptionen . .	240
5	Zusammenfassung	257
A	Beweis des Hilfsatzes 4.1	267

B Korrektheitsbeweise	269
B.1 Korrektheitsbeweis Option zu warten	270
B.2 Korrektheitsbeweis Abbruchoption	281
B.3 Sequentielle optimale Stoppprobleme	285

Abbildungsverzeichnis

3.1	Knick Ausübungszahlung / Optionswert, 1. Fall	79
3.2	Knick Ausübungszahlung / Optionswert, 2. Fall	80
4.1	Triggeregleichung Option zu warten / Option, mit Stufe 2 zu warten für die Basisfallparametrisierung	127
4.2	Triggeregleichung Option zu warten / Option, vorübergehend zu schlie- ßen für die Basisfallparametrisierung	133
4.3	Triggeregleichung Option zu warten / Option abzurechnen für die Ba- sisfallparametrisierung	138
4.4	Triggeregleichung Option, mit Stufe 2 zu warten / Option, vorüberge- hend zu schließen für die Basisfallparametrisierung.	143
4.5	Triggeregleichung Option, mit Stufe 2 zu warten / Option, vorüberge- hend zu schließen für die Basisfallparametrisierung.	148
4.6	Triggeregleichung Option zu warten / Option mit Stufe 2 zu warten / Option, vorübergehend zu schließen für die Basisfallparametrisierung	158
4.7	Triggeregleichung Option zu warten / Option, mit Stufe 2 zu warten / Option abzurechnen für die Basisfallparametrisierung	165
4.8	Triggeregleichung Option zu warten / Option, vorübergehend zu schlie- ßen / Option abzurechnen	174
4.9	Triggeregleichung Option mit Stufe 2 zu warten / Option, vorüberge- hend zu schließen / Option abzurechnen für die Basisfallparametri- sierung	182
4.10	Triggeregleichung Option zu warten / Option, mit Stufe 2 zu warten / Option, vorübergehend zu schließen / Option abzurechnen	188

4.11 Stufe-1-Trigger bei Berücksichtigung von zwei Realloptionen in Abhängigkeit der Unsicherheit σ	224
4.12 Trigger für Stufe 1 bei Berücksichtigung von drei Realloptionen in Abhängigkeit der Unsicherheit σ	226
4.13 Stufe-1-Trigger bei sukzessiver Einführung weiterer Realloptionen in Abhängigkeit von σ	227
4.14 Stufe-2-Trigger in Abhängigkeit der Unsicherheit σ	229
4.15 Trigger für Stufe 1 bei sukzessiver Einführung weiterer Realloptionen in Abhängigkeit von r	233
4.16 Trigger für Stufe 1 bei Berücksichtigung von zwei Realloptionen in Abhängigkeit des risikolosen Zinses r	235
4.17 Trigger für Stufe 1 bei Berücksichtigung von drei Realloptionen in Abhängigkeit des risikolosen Zinses r	236

Tabellenverzeichnis

2.1	Analogie Option zu warten / Finanz-Call-Option.	10
2.2	Nummerische Ergebnisse der Trigeorgis-Studie	34
2.3	Kulatilaka-Studie: Definition der Betriebsmodi	38
2.4	Kulatilaka-Studie: Umstellkosten zwischen den Modi	38
2.5	Kulatilaka-Studie: Projektwerte	39
2.6	Kulatilaka-Studie: Schwellenwerte	41
4.1	Interaktionsstudie: Basisfallparametrisierung	102
4.2	Interaktionsstudie: Projektwerte Basisfallparametrisierung	212
4.3	Interaktionsstudie: Trigger und mittlere Wartezeiten für die Basisfall- parametrisierung	213
4.4	Interaktionsstudie: Auswirkung der Volatilität auf das Investitions- verhalten in der Basisfallparametrisierung-Stufe 1	222
4.5	Interaktionsstudie: Auswirkung der Volatilität auf das Investitions- verhalten in der Basisfallparametrisierung-Stufe 2	228
4.6	Interaktionsstudie: Auswirkung des risikolosen Zinses auf das Investi- tionsverhalten in der Basisfallparametrisierung-Stufe 1	232
4.7	Interaktionsstudie: Auswirkung des risikolosen Zinses auf das Investi- tionsverhalten in der Basisfallparametrisierung-Stufe 2	234
4.8	Interaktionsstudie: Auswirkung einer kombinierten Veränderung des risikolosen Zinses und des Convenience Yields auf das Investitions- verhalten in der Basisfallparametrisierung-Stufe 1	238

4.9	Interaktionsstudie: Auswirkung einer kombinierten Änderung des risikolosen Zinses und des Convenience Yields auf das Investitionsverhalten in der Basisfallparametrisierung – Stufe 2	239
4.10	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in σ bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	242
4.11	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in r bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	244
4.12	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in P bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	246
4.13	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in c bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	248
4.14	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in I_1 bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	249
4.15	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in q bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	251
4.16	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in τ bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	253
4.17	Interaktionsstudie: Bewertungsfehler in L bei Berücksichtigung von nur einer Realoption	255

Kapitel 1

Einleitung

Zu Beginn der achtziger Jahre war von Seiten einiger Akademiker eine wachsende Unzufriedenheit mit den traditionellen analytischen Methoden zur Beurteilung von Investitionsprojekten, wie etwa der Kapitalwertmethode, zu verzeichnen¹. Einige Autoren stellten sogar die Hypothese auf, dass der in den USA beobachtbare zunehmende Einsatz analytischer Bewertungsmethoden für Investitionsprojekte Unterinvestitionen verursache und damit die Wettbewerbsfähigkeit der US-Unternehmen gefährde². Als Begründung führten diese Autoren an, dass analytische Bewertungsmethoden nicht in der Lage seien, die strategischen Aspekte einer Investition adäquat zu erfassen, so dass in zunehmendem Maße Projekte, die aufgrund ihrer strategischen Bedeutung durchgeführt werden müssten, abgelehnt würden³. Als Lösung wurde unter anderem vorgeschlagen, strategische Entscheidungen weniger auf Basis analytischer Methoden zu treffen, sondern stattdessen den Einfluss des Gespürs des Managements bei diesen Entscheidungen zu vergrößern⁴.

Seit Mitte der achtiger Jahre hat sich mit der Theorie der Realloptionen eine neue Denkweise entwickelt, die versucht, flexible Handlungsmöglichkeiten und strategische Entscheidungen, die das Management während der Lebensdauer eines Investitionsprojekts oder möglicherweise schon vor der eigentlichen Realisierung des Projekts zu treffen hat, zu modellieren und auf diese Art und Weise zu einer verbesserten Projektbewertung zu gelangen. Basis dieser Entwicklung ist die Optionspreistheorie, die es erlaubt, Wahlrechte ökonomisch zu bewerten.

¹Vgl. z. B. Hayes und Garvin [45], S. 77f.

²Vgl. Hayes und Garvin [45] S. 71.

³Vgl. etwa Hayes und Abernathy [44], S. 70.

⁴Vgl. Hayes und Abernathy [44], S. 76f.

Gleichzeitig ist es möglich, mit Hilfe der Theorie konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten, etwa, wann es optimal ist, ein Investitionsprojekt zu realisieren oder abzubrechen. Schon die frühen Arbeiten der Realloptionstheorie gelangten zu dem Ergebnis, dass diese Handlungsempfehlungen stark von denen der traditionellen Bewertungsmethoden abweichen können. Beispielsweise zeigen McDonald und Siegel [78], dass es unter Berücksichtigung der Option zu warten optimal sein kann, ein Investitionsprojekt erst dann zu realisieren, wenn der Barwert der Cash Flows des Projekts das zweifache des Investitionsbetrags beträgt⁵, während die Kapitalwertmethode bereits eine Realisierung des Projekts empfiehlt, wenn der Barwert der Cash Flows den Investitionsbetrag erreicht. Ein anderes Beispiel für abweichende Handlungsempfehlungen stammt von Brealey und Myers⁶, die zeigen, dass es optimal sein kann, ein strategisches Investitionsprojekt zu realisieren, das eine Investition in weitere Folgeprojekte erlaubt, obwohl sowohl das strategische Investitionsprojekt selbst als auch alle Folgeprojekte aus heutiger Sicht negative Kapitalwerte aufweisen. Die Kapitalwertmethode hätte das strategische Investitionsprojekt wegen eben dieser negativen Kapitalwerte als unprofitabel abgelehnt.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist ein spezielles Teilgebiet der Realloptionstheorie, nämlich die Bewertung und Analyse von Investitionsprojekten mit mehreren Realloptionen. Es wird insbesondere die Fragestellung untersucht, wie mehrere in Verbindung mit einem Projekt auftretende Realloptionen interagieren. Hierzu wird ein Investitionsprojekt mit verschiedenen Kombinationen von Realloptionen ausgestattet und mit Hilfe von eigens dafür abgeleiteten Modellen bewertet. Die Auswirkungen, die die Existenz der Realloptionen auf den Projektwert und die optimale Investitions- und Betriebsstrategie des Projekts hat, werden analysiert.

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert:

Zunächst wird in Kapitel 2 eine kurze Einführung in einige für das Folgende relevante Teilaspekte der Realloptionstheorie gegeben. Die Begriffsbildung der Realloption in der Literatur wird erörtert. Hieran schließt sich eine Betrachtung der einzelnen Typen von Realloptionen, die in der Literatur üblicherweise unterschieden werden, an. Analogien, die zwischen diesen Realloptionen und Finanzoptionen bestehen, werden herausgearbeitet und es wird auf klassische Arbeiten verwiesen, in denen

⁵Vgl. McDonald und Siegel [78], S. 721.

⁶Vgl. Brealey und Myers [14], S. 620f.

die Realoptionen betrachtet und bewertet werden. Von besonderer Bedeutung für die in Kapitel 4 folgende Studie zur Interaktion zwischen mehreren Realoptionen ist Abschnitt 2.3, in dem vorangegangene Arbeiten, in denen die Interaktionen zwischen mehreren Realoptionen untersucht wurden – dies sind Trigeorgis [116] und Kulatilaka [61] – im Detail vorgestellt werden. Typische Anwendungsmöglichkeiten und ein Ausblick, in dem kurz auf eine neue Entwicklung der Realoptionstheorie, die strategische Modellierung von Konkurrenzeinflüssen mit Konzepten der Spieltheorie, eingegangen wird, beschließen das Kapitel.

Kapitel 3 ist als theoretischer Unterbau für die in den folgenden Kapiteln zur Anwendung kommenden optionspreistheoretischen Bewertungsverfahren konzipiert. Zunächst wird gezeigt, wie ein europäisches Derivat mit Hilfe einer selbstfinanzierenden Handelsstrategie dynamisch dupliziert und damit bewertet werden kann. Ähnliche Darstellungen sind mittlerweile in Lehrbüchern zur Optionspreistheorie weit verbreitet und können quasi als Standard bezeichnet werden. Schon weit weniger als Standard kann die anschließende Darstellung zur Bewertung amerikanischer Derivate aus Kapitel 3.2 durch Lösen von optimalen Stopp-problemen bezeichnet werden. Hierbei werden zwei Lösungsprinzipien, einerseits das Konzept der kleinsten superharmonischen Majoranten und andererseits das Konzept der Smooth Pasting Condition für diese Problemklasse vorgestellt. Das vielleicht wichtigste Resultat des gesamten Kapitels ist Satz 3.9, in dem Voraussetzungen angegeben werden, unter denen die Smooth Pasting Condition auch eine *hinreichende* Bedingung zur Lösung von optimalen Stopp-problemen darstellt – in der Literatur wird die Smooth Pasting Condition meist nur als *notwendige* Bedingung für optimale Stopp-probleme abgehandelt (vgl. Kapitel 3.2.4 für Details). Von besonderer Wichtigkeit für die Interaktionsstudie aus Kapitel 4 sind die Ausführungen aus Kapitel 3.2.5, wo gezeigt wird, wie die optimalen Stopp-probleme, die in Kapitel 4 betrachtet werden, durch Anwendung der Smooth Pasting Condition als hinreichende Bedingung allgemein gelöst werden können.

Kapitel 4 ist der Studie zur Bewertung und Analyse von Investitionsprojekten mit mehreren Realoptionen gewidmet. Betrachtet wird ein zweistufiges Investitionsprojekt mit dem bis zu vier Realoptionen verbunden sein können, nämlich

- (1) die Option (mit der Realisierung von Stufe 1 des Projekts) zu warten,