Universität Zürich[UZH]

**Masterthese**

Zur Erlangung des

Master of Advanced Studies in Real Estate

# Wert und optimaler Ausübungszeitpunkt einer Aufstockungsoption in der Stadt Zürich


Verfasser: Karl Rieder

Fischerweg 10
CH-4058 Basel
Tel. 061 – 971 22 17, karl.rieder@bluewin.ch

Eingereicht bei: Dr. Mihnea Constantinescu

Scientific Director CUREM
Universität Zürich
Schanzeneggstrasse 1
CH-8002 Zürich



Abgabedatum: 12. 08. 2011

**Inhaltsverzeichnis**


Abkürzungsverzeichnis .......... IV

Abbildungsverzeichnis .......... V

Tabellenverzeichnis .......... V

Executive Summary .......... VI

1. Einleitung .......... 1
   1.1. Problemstellung .......... 1
   1.2. Zielsetzung .......... 1
   1.3. Vorgehen .......... 1

2. Begriffliche Grundlagen und relevante Definitionen .......... 2
   2.1. Immobilie .......... 2
   2.2. Immobilienbewertung .......... 2
      2.2.1. Hedonische Methode .......... 2
      2.2.2. Ertragswert .......... 3
      2.2.3. Discounted Cash Flow Methode .......... 4
   2.3. Realoptionen .......... 7
      2.3.1. Allgemeine Definition einer Option .......... 7
      2.3.2. Unterschied zwischen Finanz- und Realoptionen .......... 7
      2.3.3. Options-Begriffe .......... 8
      2.3.4. Typen von Realoptionen .......... 10

3. Methoden zur Optionsbewertung .......... 11
   3.1. Black-Scholes-Modell .......... 11
   3.2. Risikoneutraler Ansatz .......... 14
      3.2.1. Sicherheitsäquivalent .......... 14
      3.2.2. Rechenbeispiel .......... 15
      3.2.3. Wert der Call Option und Risikoprämie .......... 16
   3.3. Replikationsportfolio (Hedge Portfolio) .......... 17
      3.3.1. Formel für das Replikationsportfolio .......... 18
      3.3.2. Hedge-Verhältnis (Hedge Ratio, Delta) .......... 18
      3.3.3. Konkretes Beispiel für das Replikationsportfolio .......... 19
      3.3.4. Vergleich mit dem Black-Scholes-Modell .......... 20
      3.3.5. Marketed Asset Disclaimer .......... 20
   3.4. Binomial Modell .......... 20
      3.4.1. Herleitung der risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten .......... 21
      3.4.2. Herleitung des Wachstumsfaktors .......... 22

4. Theoretisches Konzept .......... 23
   4.1. Irreversibilität, Unsicherheit und die Möglichkeit zu warten .......... 23
   4.2. Landkonversion .......... 24
   4.3. Samuelson-McKean Landkonversions-Option .......... 24
      4.3.1. Optionswert .......... 26
      4.3.2. Schwellenwert .......... 26
      4.3.3. Schwellenwert-Kostenrelation .......... 26
      4.3.4. Risikoprämie .......... 26
      4.3.5. Options-Delta, Hedgeverhältnis .......... 27
   4.4. Erweiterungen .......... 27
   4.5. Binomialmodell .......... 29
   4.6. Volatilität .......... 29

4.6.1. Untersuchungen in USA ... 30
4.6.2. Untersuchung in U.K. ... 31

5. Realoptionsanalyse ... 33
5.1. Ausgangslage ... 33
5.1.1. Fragestellungen ... 33
5.1.2. Annahmen ... 33
5.1.3. Untersuchtes Beispiel ... 34
5.1.4. Methodisches Vorgehen ... 34
5.1.5. Verwendete Modelle ... 35
5.2. Welchen Wert generiert eine Aufstockung? ... 36
5.2.1. Wert des bestehenden dreistöckigen Wohnhauses (Altbau) ... 36
5.2.2. Berechnung der Aufstockung ohne Flexibilität ... 37
5.2.3. Abklärung bezüglich Optionen ... 37
5.2.4. Berechnung der Aufstockung mit Realoptionen ... 38
5.2.5. Vergleich ... 40
5.2.6. Diskussion ... 40
5.3. Welchen Wert generiert ein Ersatzneubau? ... 40
5.3.1. Ausgangslage ... 40
5.3.2. Berechnung des Neubaus ohne Flexibilität ... 41
5.3.3. Abklärung bezüglich Optionen ... 41
5.3.4. Berechnung des Ersatzneubaus mit Realoptionen ... 42
5.3.5. Vergleich ... 43
5.3.6. Diskussion ... 43
5.4. Was generiert mehr Wert, Aufstockung oder Ersatzneubau? ... 43
5.4.1. Ausgangslage ... 43
5.4.2. Berechnung ohne Flexibilität ... 44
5.4.3. Abklärung bezüglich Optionen ... 44
5.4.4. Simultane Berechnung beider Projekte ... 44
5.4.5. Resultate und Vergleich ... 45
5.4.6. Diskussion ... 46

6. Schlussbetrachtung ... 47
6.1. Fazit ... 47
6.2. Diskussion ... 47
6.3. Ausblick ... 48

Anhang ... 49

Literaturverzeichnis ... 50

## Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| CAPM | Capital Asset Pricing Model |
| CEQ | Sicherheitsäquivalent (Certainty Equivalent Value) |
| CF | Geldfluss (Cash Flow) |
| DCF | Discounted Cash Flow |
| IRR | Interner Zinssatz (Internal Rate of Return) |
| MAD | Marketed Asset Disclaimer |
| NPV | Nettobarwert (Net Present Value) |
| PV | Barwert, Gegenwartswert (Present Value) |
| ROA | Realoptionsanalyse (Real Option Analysis) |
| RP | Risikoprämie (Risk Premium) |
| RU | Risikoeinheit (Risk Unit) |
| WACC | Gewichteter durchschnittlicher Kapitalkostensatz (Weighted Average Cost of Capital) |

Die Abkürzungen von Variablen in Formeln sind jeweils im Text erklärt.

## Abbildungsverzeichnis


| | | |
|---|---|---|
| Abb. 1: | Typen von Realoptionen | 10 |
| Abb. 2: | Eine binomiale Stufe | 15 |
| Abb. 3: | Binomialbaum (Ereignisbaum) | 21 |
| Abb. 4: | Jährliche implizite Volatilitäten U.K. | 31 |
| Abb. 5: | Jährliche implizite Volatilitäten nach Regionen, U.K. | 32 |
| Abb. 6: | Optionswert als Funktion des Immobilienwerts und der Volatilität | 38 |
| Abb. 7: | Binomialer Entscheidungsbaum Aufstockung | 39 |
| Abb. 8: | Binomialer Entscheidungsbaum Neubau | 43 |
| Abb. 9: | Binomialer Entscheidungsbaum Aufstockung im direkten Vergleich mit Neubau | 45 |
| Abb. 10: | Binomialer Entscheidungsbaum Neubau im direkten Vergleich mit Aufstockung | 46 |


## Tabellenverzeichnis


| | | |
|---|---|---|
| Tab. 1: | Definition Optionsbegriffe | 8 - 9 |
| Tab. 2: | Optionswertsensitivität bezüglich Bewertungsparameter | 12 |
| Tab. 3: | Implizite Volatilität in Seattle 1977-79 | 30 |
| Tab. 4: | Jährliche implizite Volatilitäten U.K. | 31 |
| Tab. 5: | Realoption Aufstockung nach Samuelson-McKean Formel | 38 |
| Tab. 6: | Realoption Aufstockung nach jährlichem Binomial-Modell | 39 |
| Tab. 7: | Realoption Neubau nach jährlichem Binomial-Modell | 42 |

## Executive Summary

Diese Arbeit zeigt am Beispiel eines dreistöckigen Wohnhauses in Zürich auf, wie eine Entscheidung über eine irreversible Investition analysiert und bewertet werden kann. Das Haus kann um einen Stock erhöht oder durch einen vierstöckigen Neubau ersetzt werden. Diese Möglichkeiten werden mittels Realoptionsanalyse bewertet. Zunächst werden die Grundlagen für ein Binomialoptionsmodell erarbeitet und ein analytisches Modell, die Samuelson-McKean Formel, eingeführt. Danach werden die beiden Möglichkeiten methodisch strukturiert und in ein Modell überführt.

Die gewählten Parameter führen zu interessanten Resultaten. Die Aufstockungsvariante hat einen positiven Nettobarwert, wird aber unter Einbezug der Realoption nicht sofort realisiert. Bei Realisierung würde der Zeitwert der Option vernichtet. Dieser Zeitwert erlaubt es, das Projekt aufzuschieben und weitere Informationen über die Zukunft, das ökonomische Umfeld, zu erhalten. Das Modell zeigt eine erste Ausübungsmöglichkeit nach zwei Jahren. Die Variante eines Neubaus deckt ihre Kosten nicht. Die Realoption hat aber dennoch einen so hohen Zeitwert, dass diese Variante im Rennen bleibt und realisiert werden könnte, wenn die Immobilie über vier Jahre einen Wertzuwachs erfährt. Ein direkter Vergleich der beiden Varianten führt zu einem unerwarteten Ergebnis: Die Aufstockungsvariante wird optimal erst im fünften Jahr ausgeübt. Das resultiert aus der Kombination der beiden Realoptionen, von denen jeweils die mit dem höheren Wert berücksichtigt wird. Das zeigt auf, wie wichtig es ist, alle Optionen eines Projektes zu analysieren und zu bewerten und nicht nur die Offensichtliche.

# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung

Ein dreistöckiges Wohnhaus in der Stadt Zürich kann um ein Stockwerk erhöht werden. Die Investition wird als irreversibel angesehen. Es sind entweder eine Aufstockung oder ein Ersatzneubau möglich. Zu welcher Alternative soll sich der Eigentümer entscheiden? Macht ein Ausbau überhaupt Sinn?

## 1.2. Zielsetzung

Diese Arbeit soll aufzeigen, wie Entscheidungsmöglichkeiten mittels der Realoptionsanalyse bewertet werden können. Dabei wird einerseits die Bewertung der Option hergeleitet und andererseits der optimale Ausübungszeitpunkt.

## 1.3. Vorgehen

Zunächst werden im zweiten Kapitel die benötigten Begriffe eingeführt und definiert. Im dritten Kapitel werden die Methoden zur Optionsbewertung vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf dem Binomialmodell. Die einzelnen Schritte dieses Modells werden eingehend erörtert, damit auch ein mit Optionen wenig vertrauter Leser die Gedanken nachvollziehen kann. Kapitel vier befasst sich mit dem Samuelson-McKean Modell der Landkonversion und behandelt eingehend auch den wichtigsten Parameter der Volatilität einer Immobilie. Die Realoptionsanalyse wird in Kapitel 5 durchgeführt. Das Problem wird dabei in drei Fragestellungen unterteilt, die separat untersucht und beantwortet werden. Die Resultate werden im Anschluss an jede Fragestellung kurz diskutiert. Am Ende erfolgt noch eine zusammenfassende Diskussion. Die Schlussbetrachtung in Kapitel 6 fasst die wichtigsten Punkte noch einmal zusammen.

# 2. Begriffliche Grundlagen und relevante Definitionen

## 2.1. Immobilie

In dieser Arbeit umfassen die Begriffe Immobilie, Wohnhaus, Neu- oder Altbau immer Land und Gebäude, also die gesamte Liegenschaft. Es interessiert jedoch nicht die Baute an sich, sondern der Wert des Geldflusses daraus. Es wird mit einem fiktiven Zahlenbeispiel gerechnet.

Renditen
Total Return: Nettorendite plus Wertsteigerungskomponente
Nettorendite: Der Teil, der Rendite, der an den Eigentümer ausgezahlt wird.

Mieten
Medianmiete: Wert einer Miete, die eine Mietpreisverteilung in je 50% teurer und 50% günstigere Mieten teilt.
70% Quantil-Miete: Wert einer Miete die eine Mietpreisverteilung in 70% günstigere und 30% teurere Mietpreise teilt.

## 2.2. Immobilienbewertung

Entscheidungen in Sach- oder Finanzinvestitionen, z.B. in eine Immobilie stützen sich in aller Regel auf Bewertungen ab. Es gibt verschiedene Methoden, um Immobilien zu bewerten.

### 2.2.1. Hedonische Methode

“Die hedonische Methode ist, vereinfacht ausgedrückt, die computergestützte, auf statistischen Verfahren beruhende Vergleichswertmethode. Dabei werden möglichst viele Handänderungen [...] mit bestimmten Parametern wie Lage, Volumen, Ausbaugrad, Gebäudezustand usw. im System erfasst. Die Daten werden in den meisten Fällen in anonymisierter Form von den finanzierenden Banken geliefert“ [1]. Der Wert einer Immobilie wird über den Vergleich mit der Zahlungsbereitschaft für diese Parameter ermittelt. Die hedonische Methode basiert auf effektiven Marktpreisen, die zeitnah erhoben werden, z.B. vierteljährlich. Ein weiterer Vorteil sind die Effizienz und

---

[1] Ritz 2004
[2] vgl. Ritz 2004
[3] vgl. Ling / Archer 2010, S. 193-206, “Income approach”: Mit der “direct capitalization” wird hier ein

die tiefen Kosten dieser Methode. Als Nachteil erweist sich die hohe Anzahl an Transaktionen, die für eine aussagekräftige Wertbestimmung nötig sind. Für Büro- und Gewerbebauten ist aufgrund der tiefen Transaktionszahl die hedonische Bewertung nicht geeignet.

Sachwert (auch Substanz- oder Realwert): Der Sachwert bezieht sich auf die Baukosten einer Liegenschaft und nicht auf deren Ertragskraft. Er wird deshalb in dieser Arbeit nicht verwendet.

### 2.2.2. Ertragswert

Der Ertragswert wird berechnet, indem die Mieteinnahmen eines Jahres durch den Kapitalisierungszinssatz geteilt werden. Er ist demnach das Ergebnis einer ewigen Rente. Der Kapitalisierungssatz ist abhängig von der Situation auf dem Immobilienmarkt und von den Eigenheiten des Gebäudes. Der Ertragswert wird bei der Bewertung von Mehrfamilienhäusern eingesetzt[2].
Man unterscheidet die Brutto- und die Nettobetrachtung[3]:

Ertragswert brutto: $$EW\ (brutto) = \frac{Mieteinnahmen}{Brutto{-}Kapitalisierungssatz}$$

Ertragswert netto: $$EW\ (netto) = \frac{Mieteinnahmen{-}Eigentümerlasten}{Netto{-}Kapitalisierungssatz}$$

Der Netto-Ertragswert berücksichtigt die Kosten (Eigentümerlasten) eines Gebäudes wie Leerstandsrisiko, Betriebskosten, Unterhalt, Verwaltung und Rückstellungen für Renovationen, indem sie von den Mieteinnahmen abgezogen werden. Damit ist die Nettobetrachtung transparenter als die Bruttobetrachtung, bei die Eigentümerlasten als Zuschläge zum Kapitalisierungssatz berücksichtigt werden. Für die gleiche Liegenschaft ist somit der Bruttokapitalisierungssatz höher als der Nettokapitalisierungssatz. Der Brutto-Ertragswert ist eine praktische Grösse, wenn nur die Mieteinnahmen (Bruttomiete) bekannt sind und ein Gebäudewert rasch ermittelt werden soll.

---

[2] vgl. Ritz 2004
[3] vgl. Ling / Archer 2010, S. 193-206. “Income approach”: Mit der “direct capitalization” wird hier ein netto Ertragswert berechnet. Die Bruttobetrachtung kommt im „effective gross income multiplier“ vor.

### 2.2.3. Discounted Cash Flow Methode

Bei der Discounted Cash Flow Methode (DCF-Methode) werden zukünftig erwartete Cash Flows (Zahlungsströme) in die Gegenwart abdiskontiert (abgezinst). Im Wesentlichen sind dazu die drei folgenden Schritte nötig[4]:

1. Prognose der erwarteten zukünftigen Zahlungsströme
2. Bestimmung der geforderten Rendite resp. des Diskontierungssatzes
3. Abdiskontieren der Zahlungsströme mit dem geforderten Diskontierungssatz zum Gegenwartswert

Bei Immobilien wird häufig ein Zweiperiodenmodell angewendet. Die erste Periode wird auf 10 Jahre festgelegt[5] und detailliert modelliert. Die zweite Periode, der Residualwert, erstreckt sich vom 11. Jahr bis zum Ende der ökonomischen Nutzungsdauer. Sie wird als Erwartungswert (ewige Rente) abgebildet. Auf der Einnahmeseite gilt es, die zukünftigen Mieten richtig einzuschätzen. Bei den Ausgaben liegt der Fokus neben den Betrieb- Unterhalts- und Verwaltungskosten vor allem auf den aperiodischen Instandstellungskosten. Die zukünftigen Zahlungsströme sind unsicher. So kann die Mietnachfrage und damit die erzielbare Miete sinken, es können unerwartete Leerstände entstehen oder eine Instandstellung teurer als geplant ausfallen. Diese Unsicherheit muss in der benötigten Rendite resp. dem Diskontierungssatz berücksichtigt werden.

Der Diskontierungssatz entspricht den Opportunitätskosten des eingesetzten Kapitals, d.h. der Rendite von ähnlich riskanten Vermögenswerten oder Projekten. Investoren wollen für die Übernahme von gleichen Risiken auch die gleiche Rendite erhalten. Im Immobilienbereich wird der Diskontierungssatz üblicherweise über einen Risikokomponenten-Ansatz hergeleitet. Dieser Ansatz geht von einem risikolosen Zinssatz ($r_f$) aus, der die Geldkosten über die Zeit reflektiert. Zu diesem Zinssatz werden Risikozuschläge hinzuaddiert[6]. Als risikoloser Zinssatz dient oft ein Durchschnittswert der Rendite von 10-jährigen Staatsanleihen. Die Risikozuschläge beziehen sich auf die allgemeine Situation am Immobilienmarkt und auf das einzelne Objekt.

---

4 vgl. Geltner u.a. 2007, S. 203
5 vgl. Geltner u.a. 2007, S. 205
6 vgl. Volkart 2006, S. 345

Der Diskontierungssatz (r) kann demnach wie folgt dargestellt werden[7]:

$$r = r_f + RP$$

$r_f$ : risikoloser Zinssatz

RP: Risikoprämie, d.h. die Summe der Risikozuschläge

An den Aktienmärkten wird eine weitere Berechnung des Diskontierungssatzes resp. des Eigenkapitalsatzes angewendet: Das Capital Asset Pricing Model (CAPM)[8] .
Auch hier wird die entsprechende Rendite aus dem risikolosen Zinssatz und einer Risikoprämie gebildet.

$$E(r_{EK}) = r_f + \beta \cdot (r_M - r_f)$$

$E(r_{EK})$: erwartete bzw. geforderte Rendite der Eigenkapitalgeber

$r_M$: Rendite des Marktportfolios

$r_f$: risikoloser Zinssatz

$\beta$: Beta (systematisches Risiko) des Eigenkapitals bzw. der entsprechenden Aktie

Dieses Model kann bei kotierten Immobilienaktiengesellschaften angewendet werden. Bei einzelnen Liegenschaften wird es jedoch nicht verwendet.

In der Unternehmensfinanzierung kennt man zudem den gewichteten Kapitalkostensatz von Eigen- und Fremdkapital. Bei der WACC (Weighted Average Cost of Capital) - Methode werden die Eigen- und Fremdkapitalkosten (resp. -renditen) mit den entsprechenden Anteilen von Eigen- und Fremdkapital am Gesamtkapital gewichtet und addiert[9].

Als letzter Schritt in der DCF-Methode werden die zukünftigen Zahlungsströme abdiskontiert und zum Gegenwartswert zusammengezählt[10]. Mathematisch lässt sich das folgendermassen beschreiben:

$$PV = \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t} + \frac{CF_{RES}}{(1+r)^T}$$

[7] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 204
[8] vgl. Volkart 2006, S. 344-345
[9] vgl. Volkart 2006, S. 345-348
[10] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 204-206

PV: Present Value (Gegenwartswert)

$CF_t$: Cash Flow (Zahlungsstrom) zum Zeitpunkt t

$CF_{RES}$: Residualwert (hier Erwartungswert nach 10 Jahren)

t, T: Periode, Endzeitpunkt (hier: Ende der 1. Periode nach 10 Jahren)

r: Diskontierungssatz

Aus der DCF-Methode lässt sich eine einfache Regel für Investitions-Entscheide herleiten, die NPV-Regel. Wenn der Nettobarwert (Net Present Value, NPV) eines Projekts Null oder positiv ist, soll investiert werden[11].

$$NPV = -I_0 + PV$$

Vom Gegenwartswert wird die anfängliche Investitionssumme $I_o$ abgezogen und man erhält den Nettobarwert. Selbst ein Nettobarwert von Null stellt eine lohnende Investition dar, da damit gerade die geforderte Rendite verdient wird. Diese Rendite ist der interne Zinssatz (Internal Rate of Return, IRR). Eine ähnliche Entscheidungsregel ist demnach, zu investieren, z.B. eine Liegenschaft zu kaufen, falls der IRR höher oder gleich hoch wie die geforderte Rendite ist.

Die Entscheidungsregel über den Nettobarwert oder den internen Zinssatz berücksichtigt jedoch allfällige vorhandene Flexibilität nicht. Gerade bei Immobilien mit ihrer langen Nutzungsdauer bestehen verschiedene Bewirtschaftungs- und Entwicklungsmöglichkeiten (Optionen). So werden Gebäude im Verlauf der Zeit renoviert, energetisch saniert, umgenutzt, erweitert, aufgestockt oder durch einen Neubau ersetzt. Diese Flexibilität fliesst nicht in die vorangegangen Bewertungen ein. Durch die Bewertung von Realoptionen kann der Flexibilität ein Wert zugeteilt werden. Der nächste Abschnitt befasst sich mit den Grundlagen von Realoptionen.

[11] vgl. Volkart 2006, S. 187

## 2.3. Realoptionen

### 2.3.1. Allgemeine Definition einer Option

Eine Option gibt dem Inhaber das Recht, nicht aber die Pflicht, eine im Voraus bestimmte Ware oder einen Vermögenswert zu einem festgelegten Preis innerhalb eines bestimmten Zeitraums zu kaufen oder zu verkaufen. Der Wert dieses Rechts ist die Optionsprämie[12].

Eine um „andere Wertsachen" erweiterte Definition findet sich in Geltner / Miller[13]: „An option is the right *without obligation* to obtain something of value upon the payment or giving up something else of value."

Die Realoption wird von Copeland / Antikarov[14] definiert als: „A real option is the right, but not the obligation, to take an action (e.g. deferring, expanding, contracting or abandoning) at a predetermined cost called the exercise price, for a predetermined period of time – the life of the option." Hier wird deutlich, dass bei Realoptionen die Entscheidung zu einer bestimmten Handlung oder Strategie im Vordergrund steht. Der Kauf oder Verkauf von Vermögenswerten ist die Domäne der Finanzoption.

### 2.3.2. Unterschied zwischen Finanz- und Realoptionen

Finanz- und Realoptionen haben viele Ähnlichkeiten. Sie unterscheiden sich aber in der Auswirkung auf eine Unternehmung oder eine Investition. Während durch eine Finanzoption das Unternehmenskapital nicht verändert wird, hat die Ausübung einer Realoption direkte Konsequenzen auf das Kapital und den Wert einer Unternehmung[15]. Eine Finanzoption ist eine Vereinbarung zwischen zwei Drittpersonen, die z.B. auf dem Wert einer Unternehmensaktie basiert. Das Unternehmen selbst ist davon nicht betroffen. Wird eine Realoption ausgeübt, fliesst Geld in eine Unternehmung und deren Kapital und Wert werden verändert.

Copeland / Antikarov [16] führen noch zwei weitere Unterschiede auf. Viele Finanzoptionen werden an Börsen gehandelt, deshalb ist es viel einfacher ihre Parameter zu beobachten. Aus genügend Renditedaten einer Aktie lässt sich relativ

[12] vgl. Müller-Möhl 1995, S. 49
[13] Geltner u.a. 2007, S. 730
[14] Copeland / Antikarov 2003, S. 5
[15] vgl Howell u.a. 2001, S.7
[16] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 111

einfach ihre historische Volatilität ableiten und aus dem Vergleich mit bestehenden Optionen sogar ihre implizite. Bei Realoptionen wird der unterliegende Basiswert meistens nicht gehandelt, deshalb muss die Volatilität über die „Marketed Asset Disclaimer“ Annahme abgeschätzt werden. Diese Annahme wird im Abschnitt zum Replikations- Portfolio beschrieben.

Zu guter Letzt wird bei Finanz- und Realoptionen das Risiko als exogen betrachtet. Im Finanzbereich ist diese Annahme vernünftig. Ein einzelner Investor hat kaum die Möglichkeit, die Rendite einer Aktie zu steuern. Die Handlungen einer Unternehmung, z.B. eine Expansion in einen neuen Markt, können jedoch sehr wohl die Handlungen der Wettbewerber und damit die Natur des Marktumfeldes beeinflussen.

### 2.3.3. Options-Begriffe [17]

| | |
|---|---|
| Kaufoption (Call Option): | Das Recht zu einem festgelegten Preis während einer bestimmten Laufzeit zu kaufen. |
| Verkaufsoption (Put Option): | Das Recht zu einem festgelegten Preis während einer bestimmten Laufzeit zu verkaufen. |
| Verfallzeitpunkt (Expiry): | Das Ende der Laufzeit, Verfall des Optionsrechts. |
| Laufzeit | Ausübungsfrist, Optionsfrist |
| Europäische Option: | Diese Art der Option kann nur am Ende der Laufzeit ausgeübt werden. |
| Amerikanische Option: | Diese Art der Option kann immer während der Laufzeit ausgeübt werden. |
| Ewige Option (Perpetual Option): | Eine Option, die nie verfällt. Land stellt beispielsweise eine ewige Option für Immobiliennutzungen dar. Freies, ungenutztes Land wird nicht verbraucht. Die Option verfällt erst dann, wenn sie ausgeübt wird. Eine weitere ewige Option ist die Entscheidung über den Wechsel von einer Währung in eine andere. |
| Basiswert (Underlying Asset): | Die Bezeichnung für den einer Option zugrunde liegenden Wert wie z.B. Aktien, Rohwaren, Devisen und bei Realoptionen ein Projekt oder ein betrieblicher Geldfluss. |

[17] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 6; Müller-Möhl 1995 S. 52-53; Howell u.a. 2001, S. 4-5

| | |
|---|---|
| Ausübungspreis (Strike Price, Exercise Price): | Der festgelegte Preis zum dem ein Basiswert gekauft (Call Option) oder verkauft (Put Option) werden kann. Bei Realoptionen wird der Ausübungspreis durch die Kosten eines Projekts oder einer Investition gebildet. |
| Volatilität (Volatility): | Die Standartabweichung von der Durchschnittsrendite des Basiswerts. Die Volatilität ist ein Mass für das Risiko. Je grösser die Abweichung vom Mittelwert, desto höher ist die Volatilität und damit das Risiko. |
| Risikoloser Zinssatz (risk free rate of interest): | Der risikolose Zinssatz über die Laufzeit der Option wird üblicherweise anhand von Staatsanleihen (von hoher Bonität) mit der gleichen Laufzeit festgelegt. |
| Dividendenrendite (dividend yield) | Die Dividende resp. deren Rendite, die der Basiswert bezahlt. Ein Inhaber einer Option hat kein Anrecht auf die Dividende, die der Basiswert auszahlt. Sie geht für ihn verloren. Bei Immobilien häufig die Nettorendite. |
| Zeitwert | Wert der Option minus innerer Wert |
| Innerer Wert | Wert des Basiswertes minus Ausübungspreis |

Tab. 1: Definition Optionsbegriffe

### 2.3.4. Typen von Realoptionen [18]

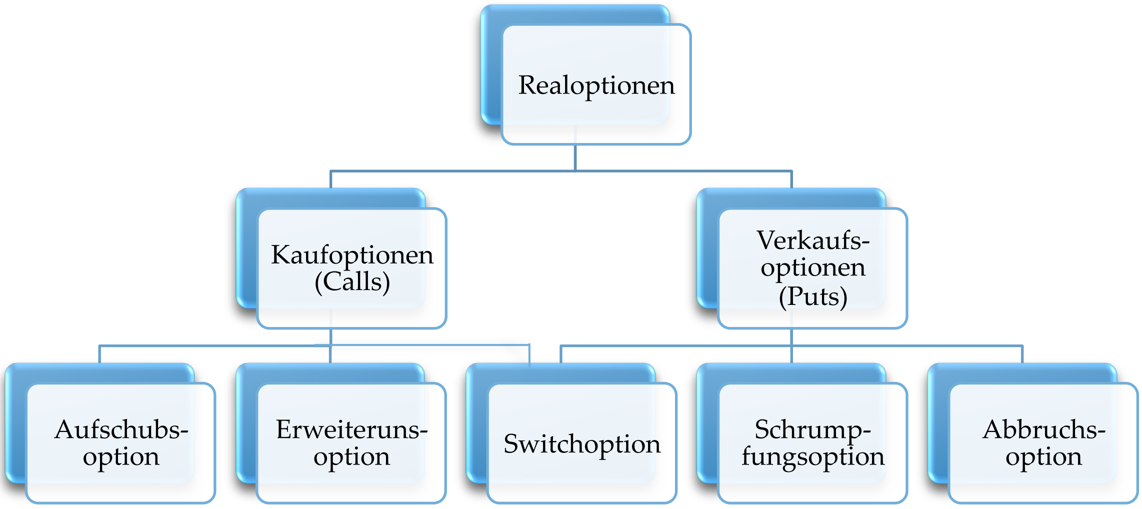


Abb. 1: Typen von Realoptionen, in Anlehnung an Volkart 2006, S. 435

Aufschubsoption (Option to defer, Timing Option):
Wenn ein Projekt nicht sofort gestartet werden muss oder eine Investition verschoben werden kann, besteht eine Aufschubsoption. Land hat beispielsweise den Charakter einer Aufschubsoption. Der Eigentümer kann mit dem Bau einer Immobilie zuwarten, bis sich eine günstige Gelegenheit mit hohen Mieten oder hohen Immobilienwerten ergibt. Ebenso verhält es sich mit einem Ölfeld, wo das Öl nicht bereits im Zeitpunkt des Kaufs gefördert werden muss, sondern höhere Ölpreise abgewartet werden können. Die Aufschubsoption ist im Grunde genommen eine simple Call Option, bei der man bis zum Ende der Laufzeit entscheiden kann, ob ein Projekt realisiert werden soll.

Aufschubsoptionen verändern die Investitionsentscheidungen. Bei der vorher beschriebenen DCF-Methode genügte ein Nettobarwert von Null, um in ein Projekt zu investieren. Das entspricht einer Situation ohne Aufschubsoption. Ist jedoch eine Projektverzögerung möglich, also eine Aufschubsoption vorhanden, muss der Nettobarwert mindestens dem Wert dieser Aufschubsoption entsprechen. Bei Ausübung der Option, also Start des Projekts, verfällt die Option und ihr Wert ist Null. Bei einem Nettobarwert von Null, verliert man insgesamt den Wert der Aufschubsoption.

[18] vgl. Volkart 2006, S. 435-438; Copeland / Antikarov 2003, S. 12-18

Erweiterungsoption (Option to Expand)

Hier geht es um die Möglichkeit einer Geschäftserweiterung. Eine Firma kann mit einem neuen Produkt zunächst ihren Heimmarkt bedienen und, wenn es gut läuft, in einer späteren Phase in ausländische Märkte expandieren. Grundsätzlich gelten hier die gleichen Überlegungen wie im Fall der Aufschubsoption. Auch die Erweiterungsoption ist eine Call Option. Allerdings bedingt diese Option die Investition in die erste Phase des Projekts, hier die Durchdringung des Inlandmarktes. Der Wert der Aufschubsoption für die zweite Phase, ausländische Märkte, kann zum NPV der ersten Phase hinzugezählt werden.

Abbruchsoption (Option to Abandon):

Investoren oder das Management einer Unternehmung haben mit einer Abbruchsoption die Möglichkeit, ein Geschäft aufzugeben und zu verkaufen. Die Abbruchsoption ist eine Put Option. Beispielsweise kann eine Sägerei ihren Betrieb einstellen und die nicht mehr benötigten Maschinen an Dritte weiterverkaufen. Eine Abbruchsoption erhöht den Nettobarwert eines Projektes.

Schrumpfungsoption (Option to Contract):

Hier gilt das Gleiche wie bei der Abbruchsoption, aber nur für Teile des Geschäfts. Es können zum Beispiel Liegenschaften, die in einer verkleinerten Unternehmung nicht mehr gebraucht werden, verkauft oder vermietet werden.

Switching Option:

Diese Option wird auch Flexibilitätsoption genannt. Vielfach entstehen sie bei Produktionsanlagen, die verschiedene Ausgangsmaterialien verarbeiten können. Eine Heizung, die mit Öl oder Gas betrieben werden kann, wird jeweils auf den billigeren Brennstoff umgestellt. Die Switching Option kombiniert Call und Put Optionen. Ist sie vorhanden, wird der Nettobarwert einer Investition erhöht.

# 3. Methoden zur Optionsbewertung

## 3.1. Black-Scholes-Modell

Der Wert einer Call Option kann nach Black Scholes als Funktion von 5 unabhängigen Variablen berechnet werden[19]:

[19] vgl. Volkart 2006, S. 908-910; Copeland / Antikarov 2003, S. 106-107

S: Kurs (Preis) des Basiswerts (z.B. einer Aktie)

X: Ausübungspreis der Call Option

T: Laufzeit (bis Verfall)

σ: Volatilität des Kurses des Basiswerts

$r_f$: risikoloser Zinssatz (kontinuierlich gerechnet)

Das Black-Scholes-Modell wurde ohne Dividenden entwickelt, kann aber adjustiert werden. Der Barwert der innerhalb der Optionsfrist (Laufzeit) ausgezahlten Dividenden, wird vom Kurs S der Aktie abgezogen.

$$C = S \cdot N(d_1) - Xe^{-r_f T} \cdot N(d_2)$$

C: Wert der Call Option

N: kumulative Wahrscheinlichkeit einer standardnormalverteilten Variablen im Punkt $d_1$ oder $d_2$

Der Ausübungspreis X geht mit seinem Barwert in die Gleichung ein, wie ein abgezinster Zero-Coupon Bond.

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + r_f \cdot T}{\sigma\sqrt{T}} + \frac{1}{2}\sigma\sqrt{T} \qquad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Bewertungsparameter

Optionspreissensitivität bezüglich der Bewertungsparameter[20]

| Parameter | Call-Wert | Put-Wert |
|---|---|---|
| S | + | - |
| X | - | + |
| T | + | + |
| σ | + | + |
| $r_f$ | + | - |
| D | - | + |

Tab. 2: Optionswertsensitivität bezüglich Bewertungsparameter, Volkart 2006, S. 913

[20] vgl. Volkart 2006, S. 913

- Eine Kurszunahme des Basiswerts steigert den Wert der Call Option, da die Ausübungswahrscheinlichkeit und die Differenz zum Ausübungspreis S-X grösser werden.
- Mit zunehmendem Ausübungspreis nimmt der (innere) Wert der Call Option ab.
- Mit zunehmender Restlaufzeit steigt der (Zeit-) Wert der Call Option.
- Eine hohe Volatilität des Basiswerts steigert den Wert eines Calls, da sich die Ausübungswahrscheinlichkeit erhöht, der Verlust aber auf den Wert der Option begrenzt ist.
- Ein höherer Zinssatz steigert den Wert einer Call Option, da der Betrag für den Ausübungspreis zu einem höheren Zinssatz bis zur Ausübung angelegt werden kann.
- Höhere Dividenden senken den Wert eines Calls, da sie vom Basiswert abgezogen werden und dessen Kurs sinkt.

Die grundlegenden Annahmen im Black-Scholes-Model sind[21]: Ein Kursverlauf des Basiswerts der einem „Random-Walk"-Prozess (Brown'sche Bewegung) folgt, log-normalverteilte Werte des Basiswerts, kontinuierliche Bewertung, Zulässigkeit von Leerverkäufen, keine Steuern und Transaktionskosten, beliebige Teilbarkeit der Basiswerte, die Märkte sind im Gleichgewicht.

Um Realoptionen zu bewerten, ist das Black-Scholes-Modell nicht unbedingt geeignet. Copeland / Antikarov[22] listen sieben weitere Annahmen oder Restriktionen des Black-Scholes-Modells auf, die bei einer Anwendung auf Realoptionen zu beachten sind:

1. Die Option kann nur am Ende der Laufzeit ausgeübt werden (europäisch).
2. Es gibt nur eine Quelle von Unsicherheit (z.B. nur der Ölpreis ist unsicher, nicht aber die förderbare Menge). Regenbogen (Rainbow) Optionen sind nicht möglich. Der Zinssatz wird als konstant angenommen.
3. Die Option ist nur abhängig von einem Basiswert, d.h. verknüpfte (compound) Optionen, die in mehrstufigen Entwicklungsprojekten vorkommen, sind nicht möglich.
4. Der Basiswert zahlt keine Dividende.

[21] vgl. Volkart 2006, S. 910
[22] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 106

5. Der aktuelle Marktwert und der stochastische Prozess, dem der Basiswert folgt, sind bekannt oder beobachtbar.
6. Die Varianz der Rendite des Basiswerts ist über die Zeit konstant.
7. Der Ausübungspreis ist bekannt und konstant.

Für die meisten Lösungen mit Realoptionen müssen eine oder mehrere Black-Scholes-Annahmen gelockert werden. Allerdings sollte sich nach Copeland / Antikarov[23] die Analyse auf die wichtigsten Parameter konzentrieren und nicht zu viele Unsicherheiten und Optionen umfassen.

## 3.2. Risikoneutraler Ansatz

### 3.2.1. Sicherheitsäquivalent

In der DCF-Methode wird ein risiko-adjustierter Diskontierungssatz angewendet, um den Barwert zu berechnen. Es lässt sich auch ein sicherheits-äquivalenter Wert berechnen, der auf dem risikolosen Zinssatz basiert. Folgendes Beispiel zeigt die Berechnung des Sicherheitsäquivalents (Certainty Equivalent Value, CEQ) für eine Periode[24]:

$$PV = \frac{CF_1}{(1+r)} = \frac{CF_1}{(1+r_f+RP)}$$

$$\left(1+r_f+RP\right)\cdot PV = CF_1 \quad \rightarrow \quad \left(1+r_f\right)\cdot PV + RP\cdot PV = CF_1$$

$$PV = \frac{CF_1 - RP\cdot PV}{(1+r_f)} = \frac{CEQ}{(1+r_f)}$$

Ein risikoneutraler Investor ist indifferent, entweder in einem Jahr risikolos das Sicherheitsäquivalent zu erhalten oder einen erwarteten Wert $CF_1$, der etwas grösser oder kleiner ausfallen kann.

---

[23] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 236

[24] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 226. Für die Formeln werden wie bisher verwendet: PV = Barwert; $CF_1$ = Geldfluss im Jahr 1; r = Diskontierungssatz; $r_f$ = risikoloser Zinssatz; PR = Risikoprämie; CEQ = Sicherheitsäquivalent

### 3.2.2. Rechenbeispiel

Folgendes Beispiel illustriert den riskanten Geldfluss im Jahr 1. Dabei wird angenommen, dass die Märkte im Gleichgewicht sind, d.h. für eine Risikoeinheit gleich viel bezahlt wird. Zudem ist die Risikoprämie RP proportional zum Risiko gemessen an der prozentualen Differenz zwischen dem höheren und dem tieferen Investitionswert in einem Jahr[25].

Eine Immobilienfirma evaluiert ein Bürogebäude, das nächstes Jahr entweder CHF 113 Mio. (70% Wahrscheinlichkeit) oder CHF 79 Mio. (30% Wahrscheinlichkeit) wert ist. Um das Beispiel zu vereinfachen wird eine sofortige Realisierung (Bauzeit = 0) unterstellt. Die Baukosten betragen CHF 90 Mio.

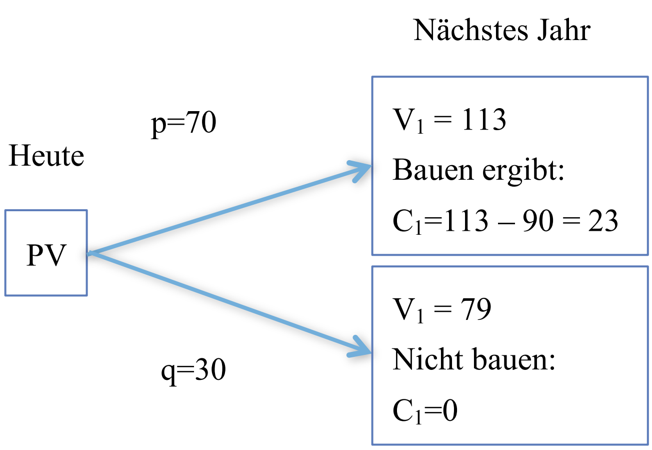


Abb. 2: Eine binomiale Stufe, vgl. Geltner u.a. 2007, S.227

Im positiven Fall, wenn der Wert nach oben (up) geht, wird gebaut und die Immobilienfirma verdient CHF 23 Mio. Im anderen Fall, wenn der Wert sinkt (down), wird nicht gebaut. Kosten und Wert sind demnach Null. Die Firma hat also eine Option, deren Wert es zu bestimmen gilt. Zunächst wird der Barwert ohne Flexibilität, d.h. ohne die Aufschubsoption berechnet[26]. Der risikolose Zinssatz beträgt 3%, die Risikoprämie 6%.

$$PV = V_0 = \frac{V_1}{1+r_V} = \frac{p \cdot V_1^u + (1-p)V_1^d}{1+r_f+RP_V} = \frac{0.7 \cdot 113 + 0.3 \cdot 79}{1+0.03+0.06} = \frac{103}{1.09} = 94.3 \approx 94$$

[25] vgl. Geltner u.a., S. 227-229

[26] Für den Barwert der Immobilie (PV) wird $V_0$ verwendet, der Barwert des Call ist $C_0$. $V_1$, $C_1$ sind die Werte nach einem Jahr. Die Indices v und c markieren die jeweiligen Risikoprämien RP, u und d zeigen die up (positiv) und down (negativ) Fälle an, % markiert prozentuale Werte, die Wahrscheinlichkeiten summieren sich zu 1: q = 1-p. E bezeichnet einen Erwartungswert und RU die Risikoprämie pro Risikoeinheit. Die Werte sind gerundet.

Der Barwert der Investition ohne Flexibilität beträgt CHF 94 Mio. Er wird bei der Berechnung der Option als Referenzwert dienen.
Aus dem einheitlichen Preis für das Risiko, der Risikoprämie pro Risikoeinheit (RU), folgt, dass das Verhältnis der Risikoprämien von Immobilie und Call Option zu ihren prozentualen Veränderungen vom Erwartungswert gleich sein muss. (Da hier der Wert und die Call Option des gleichen Projektes untersucht werden, kann von einheitlichem Preis für das Risiko ausgegangen werden. Aufgrund der Heterogenität von Immobilien kann man jedoch diesen Schluss bei verschiedenen Projekten nicht immer ziehen.)

$$RU = \frac{RP_V}{V_1^u\% - V_1^d\%} = \frac{RP_C}{C_1^u\% - C_1^d\%}$$

$$RU = \frac{RP_V}{(V_1^u - V_1^d)/V_0} = \frac{RP_C}{(C_1^u - C_1^d)/C_0} \quad \rightarrow \quad RU \cdot \left(C_1^u - C_1^d\right) = RP_C \cdot C_0$$

Wie der Barwert (PV) auf Seite 14 kann auch der Wert der Call Option ($C_0$) als Sicherheitsäquivalent dargestellt werden:

$$C_0 = \frac{CEQ(C_1)}{1 + r_f} = \frac{E(C_1) - RP_C \cdot C_0}{1 + r_f}$$

Einsetzen der Zahlen ergibt:

$$E(C_1) = p \cdot C_1^u + (1 - p) \cdot C_1^d = (0.7 \cdot 23) + (0.3 \cdot 0) = 16.1 \approx 16$$

$$RU = \frac{RP_V}{(V_1^u - V_1^d)/V_0} = \frac{0.06}{(113 - 79)/94} = 0.166$$

$$RP_C \cdot C_0 = \ RU \cdot \left(C_1^u - C_1^d\right) = 0.166 \cdot (23 - 0) = 3.82$$

$$C_0 = \frac{E(C_1) - RP_C \cdot C_0}{1 + r_f} = \frac{16.1 - 3.82}{1 + 0.03} = 11.9 \approx 12$$

### 3.2.3. Wert der Call Option und Risikoprämie

Der Erwartungswert der Call Option im Jahr 1 [E($C_1$)] beträgt ca. CHF 16 Mio. Der über Sicherheitsäquivalent und Risikoneutralität berechnete heutige Wert der Call

Option ($C_0$) ist CHF 12 Mio. Daraus lassen sich der Diskontierungssatz $r_C$ von 35% und die Risikoprämie ($RP_C$) von 32% (35%-3% risikoloser Zinssatz) ableiten.

$$C_0 = \frac{E(C_1)}{1 + r_C} \quad \rightarrow \quad r_C = \frac{E(C_1)}{C_0} - 1 \ = \frac{16.1}{11.9} - 1 = 0.35 = 35\%$$

Die Call Option (Aufschubsoption) hat damit einen höheren Wert als der Nettobarwert einer sofortigen Realisierung von CHF 4 Mio. (CHF 94-90 Mio.). Der innere Wert der Option beträgt CHF 4 Mio., der Zeitwert CHF 8 Mio., was in der Summe dem Gesamtwert von CHF 12 Mio. entspricht. Eine sofortige Realisierung hätte den Untergang der Aufschubsoption zur Folge und würde den Zeitwert vernichten. Die Flexibilität, warten zu können, ist in diesem Beispiel also CHF 8 Mio. wert.

Die Call Option hat ein etwa fünfmal so hohes Risiko ($RP_C/RP_V$ = 32%/6% = ca. 5) wie ein Bürogebäude, das durch Ausüben der Option entsteht. Diese Erhöhung des Risikos kommt von der Hebelwirkung der CHF 90 Mio. (risikolosen) Kosten, die aufgewendet werden müssen, um ein Bürogebäude zu bauen.

### 3.3. Replikationsportfolio (Hedge Portfolio)

Hinter dem Replikationsportfolio steht die Idee, den Wert einer Option mit Hilfe von zwei anderen Finanzinstrumenten so darzustellen, dass der Wert des Replikationsportfolios in allen zukünftigen Zuständen dem Wert der Option entspricht. Der Wert einer Aktien-Option wird in der Form eines riskanten Aktienanteils und eines risikolosen Bondanteils repliziert. Die Methode wurde für Finanzmärkte entwickelt, auf denen der Basiswert der Option, also die Aktie oder ein mit ihr stark korrelierter Wert, und ebenso Bonds, d.h. Staatsanleihen, gehandelt werden. Dem Replikationsportfolio-Ansatz liegt ein vollkommener und friktionsloser Markt zu Grunde, auf dem ohne Transaktionskosten gehandelt werden kann. Auch Leerverkäufe und Fraktionen sind möglich[27]. Im Absatz zum „Marketed Asset Disclaimer“ wird gezeigt, dass ein Replikationsportfolio auch ohne tatsächlichen Wertschriftenhandel konstruiert werden kann.

---

[27] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 734-735

### 3.3.1. Formel für das Replikationsportfolio

Die folgende Formel[28] stellt ein Replikationsportfolio für den gegenwärtigen Zustand dar:

$$C_0 = m \cdot V_0 + B_0$$

$C_0$ ist der Wert der Call Option, $V_0$ der riskante (Aktien-)Anteil, m steht für die Anzahl Aktien und $B_0$ ist ein risikoloser Bond. Wie bereits erwähnt kann m auch den Wert eines Bruchs annehmen und kleiner als 1 sein, zudem können die Werte aufgrund von Leerverkäufen negativ sein.

In einem Jahr unterscheidet man wiederum nur zwei Zustände, „up" und „down", die durch die Indices u und d angezeigt werden[29].

$$C_1^u = m \cdot V_1^u + B_0(1 + r_f)$$
$$C_1^d = m \cdot V_1^d + B_0(1 + r_f)$$

Ein System mit zwei Gleichungen und zwei Unbekannten, m, $B_0$, kann durch Einsetzen aufgelöst werden.

$$m = \frac{C_1^u - C_1^d}{V_1^u - V_1^d}$$

$$B_0 = \frac{C_1^d - m \cdot V_1^d}{1 + r_f}$$

### 3.3.2. Hedge-Verhältnis (Hedge Ratio, Delta)

Das Options-Delta (m) ist das Hedge-Verhältnis für die Option C und die unterliegenden Aktien V. Wird die Option ($C_0$) verkauft und steigt ihr Wert zu ($C_1^u$) oder sinkt auf ($C_1^d$), so wird diese Wertschwankung ausgeglichen durch das Halten von (m) Aktien ($V_0$) die jeweils entweder zu ($V_1^u$) steigen oder ($V_1^d$) fallen. Der Wert des Portfolios bleibt ausgeglichen.

Das Replikationsportfolio wird mit dem vorherigen Zahlenbeispiel überprüft.

---

28 vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 110

29 Um den Bondwert in einem Jahr ($B_1$) zu erhalten, wird der aktuelle Wert ($B_0$) mit dem risikolosen Zinssatz $r_f$ aufgezinst.

$V_0 = 94.3$; $V_1^u = 113$; $V_1^d = 79$; $C_1^u = 23$; $C_1^d = 0$; $r_f = 0.03$.

$$m = \frac{23 - 0}{113 - 79} = \frac{23}{34} = 0.676$$

$$B_0 = \frac{0 - 0.676 \cdot 79}{1 + 0.03} = -\frac{53.4}{1.03} = -51.9$$

$$C_0 = m \cdot V_0 + B_0; \quad C_0 = 0.676 \cdot 94.3 - 51.9 = 63.8 - 51.9 = 11.9 \approx 12$$

Die Call Option ($C_0$) hat mit CHF 12 Mio. den gleichen Wert wie nach der Berechnung im risikoneutralen Ansatz. Zur Berechnung genügten der Ausgangswert ($V_0$) sowie die möglichen Zustandswerte ($V_1$) und ($C_1$) im Jahr 1 und der risikolose Zinssatz. Sind diese Werte bekannt, sind weder Wahrscheinlichkeiten noch Risikoprämie nötig.

### 3.3.3. Konkretes Beispiel für das Replikationsportfolio

Was muss man sich aber unter dem Replikationsportfolio konkret vorstellen? Ein Beispiel mit zwei verschiedenen Investoren A und B soll das veranschaulichen[30].

A kauft die Call Option und kann, muss aber nicht, nächstes Jahr ein Bürogebäude für CHF 90 Mio. kaufen. Er bezahlt CHF 12 Mio.

B kauft 67.6% einer Firma, die bereits heute ein solches Bürogebäude besitzt. Zudem verkauft er leer 52 Bonds à je CHF 1 Mio. Er bezahlt CHF 64 Mio., d.h. 67.6% des heutigen Firmenwerts von CHF 94 Mio. Aus seinem Leerverkauf der Bonds erhält er CHF 52 Mio. quasi als Kredit. Netto bezahlt auch er CHF 12 Mio.

Wenn nun in einem Jahr der Wert für Bürogebäude steigt, hat A eine Call Option zu CHF 23 Mio.
B's Beteiligung an der Firma ist dann CHF 76.4 Mio. wert (67.6% von CHF 113 Mio.). Er kann seinen Anteil verkaufen und die leerverkauften Bonds zuzüglich 3% Zins zu CHF 53.4 Mio. zurückkaufen. Damit bleiben auch ihm CHF 23 Mio. übrig.

Sinkt der Wert für Bürogebäude, ist A's Call Option wertlos.

[30] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 736-737

Der Wert von B's Firmenanteilen sinkt auf CHF 53.4 Mio. (67.6% von CHF 79 Mio.). Damit kann er die leerverkauften Bonds zurückkaufen. Am Schluss ist auch B's Portfolio wertlos.

### 3.3.4. Vergleich mit dem Black-Scholes-Modell

Die Formel des Replikationsportfolios

$$C_0 = m \cdot V_0 + B_0$$

ähnelt der Formel von Black-Scholes mit $S_0$ als Kurs der Aktie und $Xe^{-rT}$ als kontinuierlich diskontierter Barwert des Ausübungspreises:

$$C_0 = S_0 N(d_1) - Xe^{-rT} N(d_2)$$

$N(d_1)$ ist das Hedge-Verhältnis (Delta). $N(d_2)$ ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Option „in the money" endet[31].

### 3.3.5. Marketed Asset Disclaimer

Die Berechnung von Realoptionen mit dem Ansatz des Replikationsportfolios ging bisher von stark korrelierenden Werten aus, deren Preise auf dem Markt beobachtbar waren. Copeland / Antikarov[32] postulieren nun den „Marketed Asset Disclaimer" (MAD), d.h. das Projekt selbst ohne Flexibilität als riskanten Anteil ins Replikations-portfolio zu nehmen. Der Barwert des Projektes selbst ist der am besten mit der Realoption korrelierende Wert. Die Optionsberechnung unterliegt dabei den gleichen Annahmen und Unsicherheiten wie die Berechnung des Barwerts des Projekts.

## 3.4. Binomial Modell

Im risikoneutralen Ansatz und im Replikationsportfolio wurden einstufige Binomialmodelle dargestellt. Verschiedene Schritte können nun zu Ereignisbäumen kombiniert werden.

Am besten eignet sich dazu ein multiplikativer oder geometrischer stochastischer Prozess, in dem ein Startwert ($V_0$) jeweils mit einem Wachstumsfaktor für Steigerung („up", u) und Rückgang („down", d) multipliziert wird. Aus der Annahme d = 1/u ergibt sich ein rekombinierbarer Binomialbaum, dessen Werte (V) lognormal verteilt sind. Die

[31] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 110
[32] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 94

untere Limite einer lognormalen Verteilung ist Null, die obere unendlich, allerdings mit einer an Null grenzenden Wahrscheinlichkeit[33].

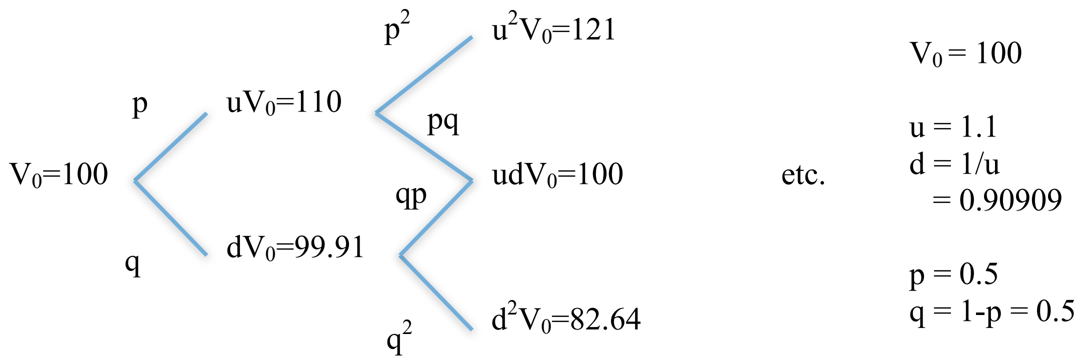


Abb. 3: Binomialbaum (Ereignisbaum), vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 122

### 3.4.1. Herleitung der risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten

Aus den beiden Gleichungen[34]

$$m \cdot V_u + B \cdot (1 + r_f) = C_u$$
$$m \cdot V_d + B \cdot (1 + r_f) = C_d$$

lässt sich durch Umformen zeigen, dass

$$m = \frac{C_u - C_d}{(u-d) \cdot V}\,, \qquad B = \frac{uC_u - dC_d}{(u-d) \cdot (1 + r_f)}$$

daraus folgt, dass

$$C = mV + B = \frac{C_u - C_d}{(u-d)} + \frac{uC_u - dC_d}{(u-d)(1+r_f)} = \frac{\left(\frac{1 + r_f - d}{u-d}\right) C_u + \left(\frac{u - (1 + r_f)}{u-d}\right) C_d}{1 + r_f}$$

Die risikoneutrale Wahrscheinlichkeit für einen Schritt nach oben („up“, u) resp. nach unten („down“, d) ist nun definiert als:

---

[33] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 122
[34] vgl. Cox / Ross / Rubinstein 1979, S. 5-6

$$p_u = \frac{1 + r_f - d}{u - d}\ , \quad p_d = q = 1 - p_u$$

Die Optionsgleichung im Binomialmodell kann nun geschrieben werden als:

$$C = [p_u \cdot C_u + (1 - p_u) \cdot C_d]/(1 + r_f)$$

### 3.4.2. Herleitung des Wachstumsfaktors

Nun muss noch Wert des Wachstumsfaktors (u) resp. (d) hergeleitet werden. Cox, Ross und Rubinstein haben in ihrem Artikel „Option Pricing: A Simplified Approach“ eine Lösung publiziert, die die beobachtete oder implizite Volatilität mit der Schrittgrösse einer Stufe im Binomialmodell verbindet[35].

$$u = e^{\sigma\sqrt{\frac{t}{n}}}\ oder\ u = exp\left(\sigma \cdot \sqrt{\frac{t}{n}}\right)\ ,\ d = \frac{1}{u}$$

Dabei ist (σ) die Volatilität pro Jahr, (t) die Restlaufzeit in Jahren und (n) die Anzahl Schritte pro Jahr.

Mit diesen Angaben kann nun in einem Spreadsheet ein Binomialmodell aufgebaut werden. Als Erstes wird vom Anfangswert ausgehend ein Ereignisbaum mit den Wachstumsfaktoren (u) und (d) bis zum Ende der Laufzeit erstellt. Die Optionsberechnung erfolgt in einem weiteren Schritt und beginnt in der letzten Kolonne des Spreadsheets, nämlich beim Verfall der Option. Im Verfallszeitpunkt kann die Option nur zwei Werte annehmen: Entweder ist der Optionswert positiv (V-K > 0) oder er ist Null. Von jeweils zwei nebeneinanderliegenden Endpunkten des Ereignisbaumes kann der Wert des Optionsgliedes von der Periode davor durch die risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten ($p_u$) und ($1-p_u$) berechnet werden. Mit diesem Verfahren wird die gesamte Optionsgliederkette bis zum Anfang zurückgerechnet.

---

[35] vgl. Cox / Ross / Rubinstein 1979, S. 23

# 4. Theoretisches Konzept

## 4.1. Irreversibilität, Unsicherheit und die Möglichkeit zu warten

Wer auf einem Stück Land ein Gebäude entwickelt und erstellt, muss sich bewusst sein, dass diese Investition irreversibel ist. Natürlich kann das Gebäude als solches, Tragwerk, Wände, Dach, wieder abgerissen werden, aber die Investitionskosten werden dadurch nicht ersetzt. Falls die erwarteten und benötigten Mieteinnahmen nicht realisiert werden, müssen die Investitionskosten mindestens teilweise als untergegangen („sunk“) betrachtet werden.

Allerdings hat Land eine einzigartige Eigenschaft: Es hält ewig. Auf einem Stück Land kann jederzeit und zeitlich unbegrenzt eine Immobilie errichtet werden. Ein Investor kann also mit einem Bau zuwarten, bis die zukünftig erzielbaren Miet- oder Betriebseinnahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit die Investitionskosten decken.

Die Möglichkeit zu warten und eine irreversible Investition aufzuschieben, beeinflusst jedoch nach Pindyck [36] die neoklassischen Entscheidungsregeln und Investitionsmodelle: „[...] the ability to delay an irreversible investment expenditure can profoundly affect the decision to invest. It also undermines the theoretical foundation of standard neoclassical investment models, and invalidates the net present value rule [...]: ‚Invest in a project when the net present value of its expected cash flows is at least as large as its cost.’ This rule – and models based on it – are incorrect when investments are irreversible and decisions to invest can be postponed.“

Was Pindyck moniert und im neoklassischen NPV-Modell fehlt, ist eine Optionsprämie (Irreversibilitätsprämie) im Zusammenhang mit irreversiblen Landkonversionen und der Unsicherheit (Volatilität) bezüglich zukünftiger Höhe und Wachstum von Immobilien-Renditen. Wird nach NPV-Modell eine Investition ausgelöst, wenn die Erträge die Kosten gerade decken, erleidet der Investor einen Verlust, wenn die Erträge und damit der Wert der Immobilie später fallen. Um die Wahrscheinlichkeit eines solchen Verlusts möglichst klein zu halten, wird erst investiert, wenn der Immobilienwert die Baukosten mit einer Sicherheitsmarge übersteigt.

[36] Pindyck 1991, S. 1110

## 4.2. Landkonversion

Verschiedene Arbeiten zu Landkonversionen haben gezeigt, dass (Landwirtschafts-) Land erst dann entwickelt und überbaut werden soll, wenn die Immobilienrendite (urban rent) höher ist als die Summe der Rendite aus Landwirtschaft, der Konstruktionskosten und der Optionsprämie[37]. Wenn nun diese Renditen kapitalisiert werden, lässt sich eine Wertegleichung herleiten:

$$Wert\ Immoilie =$$
$$Wert\ Landwirtschaft + Konstruktionskosten + Optionsprämie$$

Diese Prämie wird vernichtet, wenn die Aufschubsoption ausgeübt, d.h. die Immobilienentwicklung realisiert wird. Sie muss deshalb auf der Kostenseite in die Rechnung eingehen.

Nun stellt sich die Frage nach der Höhe dieser Optionsprämie und wie man sie berechnet. Das Black-Scholes-Modell beschreibt eine Option mit fixem Enddatum. Bei Land ist die Ausübungsfrist jedoch unbegrenzt, d.h. Land stellt eine ewige (perpetual) amerikanische Option für Umnutzungen dar. Daher stützen sich die Optionsberechnungen bei Landkonversionen auf die Formel von Samuelson und McKean zur Bewertung von Perpetual Warrants[38]. In ihrem Artikel „Rational Theory of Warrant Pricing" wurde die Formel zur Bewertung von amerikanischen Perpetual Warrants (Optionen) hergeleitet, die jederzeit in die unterliegende Aktie ausgeübt werden können, jedoch vor Ausübung keine Dividende erhalten. Der optimale Ausübungszeitpunkt ist erreicht, wenn ein Preisanstieg (oder Rückgang) der Aktie gleich hoch ist wie der Preisanstieg (Rückgang) des Warrants. Die Annahmen sind wie üblich ein „Random Walk" Prozess und eine Log-Normalverteilung der Aktienkurse.

## 4.3. Samuelson-McKean Landkonversions-Option

Die Formel kann auf verschiedene Arten dargestellt werden:
Patel / Paxson / Sing[39] orientieren sich etwas näher an Samuelson's Schreibweise:

[37] vgl. Patel / Paxson / Sing 2005, S. 20
[38] vgl. Samuelson 1965 S. 13-39
[39] vgl. Patel / Paxson / Sing 2005, S. 10

$$C = (V^* - I)\left(\frac{V}{V^*}\right)^{\beta}, \qquad \beta = \frac{1}{2} - \frac{r-y}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{r-y}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}, \qquad V^* = I\frac{\beta}{\beta - 1}$$

(C) ist der Wert der Call Option, (r) der risikolose Zinssatz, (y) die Rendite der zu bauenden Immobilie, (I) die Investitionskosten, (V) der Wert der Immobilie und ($\sigma$) dessen Volatilität. Wenn der Wert der unterliegenden Immobilie $V^*$ erreicht, sollte die Landkonversionsoption ausgeübt und der Bau begonnen werden.

Geltner[40] hat die Formel etwas umgestellt, so dass sie für diese Arbeit besser geeignet ist. Er definiert zuerst die Options-Elastizität ($\eta$, eta). Sie misst die prozentuale Änderung des Landwertes bei einer 1%-igen Änderung des Immobilienwertes. Zur Berechnung der Optionselastizität ($\eta$) sind drei Parameter nötig:

1. die Nettorendite der (zu bauenden, resp. einer vergleichbaren) Immobilie ($y_V$)
2. die Volatilität des Total Return der *individuellen* Immobilie ($\sigma_V$)
3. die Konstruktionskosten-Rendite ($y_K$)

$$\eta = \frac{y_V - y_K + \frac{\sigma_V^2}{2} + \sqrt{\left(y_K - y_V - \frac{\sigma_V^2}{2}\right)^2 + 2 \cdot y_K \sigma_V^2}}{\sigma_V^2}$$

Die Nettorendite (Mieteinnahmen minus Verwaltungs- und Betriebsaufwand) kann als Dividendenrendite gesehen werden, die dem Investor entgeht, solange die Immobilie nicht gebaut ist.

Es ist wichtig, dass die Volatilität einer vergleichbaren individuellen Immobilie eingesetzt wird und nicht eine Volatilität eines Index. Die vergleichbare individuelle Immobilie ist der unterliegende Basiswert. Deshalb darf auch nicht die Volatilität des unbebauten Landwerts verwendet werden. Das wäre nämlich die Volatilität der Option, die berechnet werden soll. Mehr dazu im Abschnitt über die Volatilität.

Die Konstruktionskostenrendite ist die Ersparnis, die entsteht, wenn das Kapital für den Bau erst später zur Verfügung gestellt werden muss. Sie wird berechnet indem vom risikolosen Zinssatz ($r_f$) die Wachstumsrate (Inflationsrate) der Baukosten ($g_K$) abgezogen werden. Wenn der risikolose Zinssatz, zu dem man Geld anlegen kann, höher ist als die Inflationsrate, ergibt sich aus einem Aufschub der Konstruktion ein Gewinn oder eine Konstruktionskosten-Rendite.

---

[40] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 746-747

### 4.3.1. Optionswert

Der aktuelle Optionswert ($C_0$) ist

$$C_0 = (V^* - K_0)\left(\frac{V_0}{V^*}\right)^{\eta}$$

wobei ($V_0$) der Wert des besten Projektes ist, das auf der Landparzelle gebaut werden könnte, und $K_0$ die Konstruktionskosten inklusive Architekten- und anderer Honorare aber ohne den Landpreis darstellt.

### 4.3.2. Schwellenwert

($V^*$) ist in dieser Formel der Schwellenwert oder kritische Wert unterhalb dem das Land unbebaut belassen werden sollte. Oberhalb dieses Werts sollte unmittelbar mit der Entwicklung begonnen werden. Dieser Schwellenwert ist eine Funktion der Konstruktionskosten $K_0$ und der Optionselastizität ($\eta$).

$$V^* = K_0 \frac{\eta}{\eta - 1}$$

### 4.3.3. Schwellenwert-Kostenrelation

Die Schwellenwert-Kostenrelation ($\eta/\eta-1$) zeigt an, bei welchem Wert-Kosten-Verhältnis ($V^*/K_0$) eine Landparzelle optimal entwickelt und überbaut wird. In der Samuelson-McKean Formel ist dieses Verhältnis nur abhängig von der Nettorendite, der Konstruktionsrendite und der Volatilität der Immobilie. Die Grösse des Projektes oder der Landparzelle spielt keine Rolle.

### 4.3.4. Risikoprämie

Die Optionselastizität ($\eta$) zeigt auch das Verhältnis der Risikoprämien der Immobilie ($RP_V$) und der Option ($RP_C$) (unbebautes Land) an, das im Abschnitt über die risikoneutrale Bewertung mit dem Sicherheitsäquivalent verwendet wurde. Sie zeigt damit eine Verbindung zwischen der analytischen und der Binomial-Methode auf.

$$RP_C = \eta RP_V$$

### 4.3.5. Options-Delta, Hedgeverhältnis

Als letztes Verbindungsglied zwischen der Binomialmethode und dem analytischen Ansatz von Samuelson-McKean sei noch das Hedge-Verhältnis oder Options-Delta erwähnt. Im Replikationsportfolio der Binomialmethode besteht das Delta (m) aus der Anzahl Aktien resp. dem CHF-Betrag der in die Immobilienfirma investiert werden muss, damit eine Wertänderung des Replikationsportfolios gleich hoch ist wie die Änderung des Optionswerts. In der Samuelson-McKean Formel ist das Delta gegeben durch[41]:

$$\Delta_C = \left(\frac{V(\eta - 1)}{K_0 \eta}\right)^{\eta - 1}$$

Das Options-Delta ist nicht konstant, sondern ändert sich mit dem Wert der Immobilie (V). Es beträgt Null für den Wert V=0 und steigt gegen 1, wenn V grösser als $V^*$ ist, also der optimale Ausübungszeitpunkt überschritten wurde. Auch im Binomialmodell ändert sich das Options-Delta von Schritt zu Schritt. Wenn aber nur ein Schritt berechnet wird, wie im Beispiel mit dem Replikationsportfolio, ist es eine konstante Grösse. Im optimalen Ausübungszeitpunkt ist die Wertänderungsrate von Option und unterliegendem Basiswert gleich hoch.

## 4.4. Erweiterungen

Im Artikel „a review oft the practical uses of real property options“ liefern Patel / Paxson / Sing[42] eine umfassende Übersicht zu Realoptionen im Immobilienbereich. Die darin erwähnten Untersuchungen decken verschiedene Gebiete ab, wie Optionen zur Entwicklung und Planung von Immobilien, Investitionsentscheidungen, Optionen im Bereich Leasing, Betriebsführung, Finanzierung von Immobilen sowie Optionen zur Immobilien-Strategie. Diese Arbeit befasst sich mit Investitionsentscheidungen, und erwähnt deshalb nur wenige Artikel aus diesem Bereich. Die Formeln sind zum Teil kompliziert, so dass auf ihre Wiedergabe verzichtet wird.

Williams[43] berücksichtigt die Bauzeit und erweitert die Samuelson-McKean Formel um unsichere Konstruktionskosten. Er präsentiert eine simultane Lösung für die optimale Optionsausübung und bauliche Dichte (Ausnützung). Die Option wird als eine Funktion

---

[41] vgl. Patel / Paxson / Sing 2005, S. 11
[42] vgl. Patel / Paxson / Sing 2005
[43] vgl. Williams 1991, S. 193-196

des Verhältnisses des Immobilienwertes (V) zu den Konstruktionskosten (K) definiert. Die Geldflüsse aus der Immobilie und den Konstruktionskosten haben eine konstante Volatilität und ihr Korrelationskoeffizient ist ebenfalls konstant. Die Varianz ($\sigma^2$) in der angepassten Samuelson-McKean Formel wird aus den beiden Volatilitäten ($\sigma_V$, Immobilie) und ($\sigma_K$, Konstruktionskosten) wie folgt hergeleitet:

$$\sigma^2 = (\sigma_V - \sigma_K)^2 = \sigma_V^2 - 2\sigma_V\sigma_K\rho + \sigma_K^2 = \sigma_V^2 - 2\sigma_{VK} + \sigma_K^2$$ [44]

Aus seiner Studie leitet Williams unter anderem ab, dass die Option mehr Wert ist bei flexibler Dichte als bei vorgegebenen Bauzonen.

In Quigg's empirischer Studie[45] wird ein Modell verwendet, das dem von Williams sehr nahe kommt. Darin werden die Land-Optionsprämien und die implizite Volatilitäten von Immobilien geschätzt. Im Abschnitt Volatilität wird noch näher darauf eingegangen.

Immobilien können durch Neubauten ersetzt und die Liegenschaft umgenutzt werden. Amin / Capozza[46] zeigen auf, dass die Berücksichtigung von sequenziellen Erneuerungen zu höheren Optionspreisen führt. Zudem wird dabei unbebautes Land zunächst mit einer kleineren Dichte entwickelt und in den folgenden Sequenzen zu höheren Volumen verdichtet. Williams[47] untersucht mehrmalige Erneuerungszyklen und ihre Auswirkungen auf den Land-Optionswert. Er operiert mit linearen Abschreibungen der vorhandenen physikalischen und funktionalen Qualität. Bei einer realistischen Annahme von einer unbeschränkten Anzahl Erneuerungszyklen, erhöht sich der Land-Optionswert im Vergleich zu einer beschränkten Anzahl Erneuerungen. Zudem ist die Mindestqualität, bei der erneuert wird, höher, und die erneuerte Qualität tiefer, als im Fall mit beschränkter Anzahl. Es wird also öfter und zu tieferen Kosten erneuert. Williams gibt die Zeit zwischen zwei Erneuerungen wie folgt an[48]:

Mittelwert für 1 Erneuerung: 79 Jahre (Standartabweichung 81 Jahre)
Mittelwert für unlimitierte Erneuerungen: 71 Jahre (Standartabweichung 76 Jahre).

---

[44] vgl. Williams 1991, S. 195. Die beiden Zwischenschritte wurden vom Verfasser eingefügt. $\rho$= Korrelationskoeffizient; $\sigma_{VK}$ = Kovarianz
[45] vgl. Quigg 1993
[46] vgl. Amin / Capozza 1993
[47] vgl. Williams 1997
[48] vgl. Williams 1997, S. 400

## 4.5. Binomialmodell

Das Binomialmodell ist flexibel einsetzbar und für den Benutzer intuitiv häufig einfacher fassbar als eine analytische Lösung. Die Verknüpfungspunkte zu der analytischen Methode wurden in den vorangehenden Abschnitten aufgezeigt:

- Der Cox Ross Rubinstein Ansatz, der die Wachstumsrate einer Binomialstufe mit der Standartabweichung verbindet, um so im Grenzfall die Black-Scholes Formel zu erreichen.
- Die Optionselastizität, die das Verhältnis der Risikoprämien zwischen Option und unterliegendem Basiswert bildet.
- Das Options-Delta, das als Hedge-Verhältnis im Replikationsportfolio und in der Black-Scholes sowie in der Samuelson-McKean Formel vorkommt und vom riskanten (Aktien-)Teil abhängt.

Das Binomialmodell hat allerdings einen Nachteil bei Realoptionen auf unbebautes Land: Es braucht zwingend einen Endpunkt, eine Ausübungsfrist. Das Binomialmodell wird von diesem Endpunkt über die verschiedenen Stufen zurück gerechnet. Optionen auf Land haben aber kein Verfalldatum, sie währen ewig. Im Fall von bestehenden Gebäuden ist die ewige Lebensdauer nicht gegeben, und die Möglichkeit eine Optionsfrist zu setzen, ist realitätsnah..

## 4.6. Volatilität

Der wichtigste Faktor bei einer Options-Berechnung, egal ob analytisch oder binomial, ist die Volatilität. Eine höhere Volatilität steigert den Optionswert, eine tiefere senkt ihn. Im Binomialmodell bestimmt sie die Wachstumsrate pro Stufe, im Block-Scholes-Modell steckt sie in der kumulativen Wahrscheinlichkeit der standardnormalverteilten Variablen und im Samuelson-McKean Modell geht sie in die Optionselastizität ein. Trotz ihrer Wichtigkeit gibt es nur relativ wenige Daten zur impliziten oder historischen Volatilität von einzelnen Liegenschaften. Diese Daten sind auch schwierig zu beobachten und müssen ihrerseits aus theoretischen Modellen hergeleitet werden, da eine individuelle Immobilie nicht ständig gehandelt wird.

### 4.6.1. Untersuchungen in USA

In ihrer Studie über einzelne Liegenschafts-Transaktionen in Seattle berechnet Quigg[49] für die Jahre 1977-1979 implizite Volatilitäten (Standartabweichungen) zwischen 18 und 28% pro Jahr für verschiedene Immobiliensektoren.

| Standardabweichung | Jahr | | |
|---|---|---|---|
| Sektor | 1977 | 1978 | 1979 |
| Business | 18.5% | 24.3% | 23.4% |
| Commercial | 21.9% | 22.5% | 22.4% |
| Industrial | 22.4% | 28.1% | 25.2% |
| Low-density residential | 26.4% | 23.5% | 21.5% |
| High-density residential | 21.2% | 24.9% | 25.9% |

Tab. 3: Implizite Volatilität in Seattle 1977-79, Daten (gerundet) aus Tabelle von Quigg 1993 S. 634, Variance Estimates Implied from Option Model

Die angegebenen impliziten Volatilitäten sind in einer ähnlichen Grössenordnung, unabhängig vom Immobiliensektor. Einzig „Business" mit 18.5% im Jahr 1977 und Industrial mit 28.1% im Jahr 1978 stellen Ausschläge dar. Interessant ist auch, dass sich die Wohnbereiche (Residential) zwischen 21.1% und 26.4% bewegen und damit gleich hoch oder höher sind als Business und Commercial.

Quigg erwähnt noch zwei weitere Studien zu diesem Thema. Case und Shiller[50] haben in verschiedenen U.S. Städten zwischen 1970 und 1986 Transaktionen von individuellen Häusern untersucht und eine jährliche Standardabweichung der Preise von 15% festgestellt. Titman und Torous [51] schätzen die implizite Immobilien-Standardabweichung mit ihrem „Commercial Mortgage-Pricing" Modell auf 15.5%.

Geltner [52] gibt weitere Studien an, die jährliche Volatilitäten von individuellen Immobilien von 15% oder mehr gefunden haben. Diese Volatilitäten sind durchwegs höher als die Volatilitäten von Immobilien-Indices. Der breit diversifizierte „NCREIF Index of unlevered commercial property" hatte in den Jahren 1978-2004 eine jährliche Volatilität von 6.2%. Neben der Diversifikation sind auch noch Bewertungseffekte („smoothing") für eine tiefere Volatilität Verantwortlich.

---

[49] vgl. Quigg 1993, S. 634
[50] vgl. Case / Schiller 1989, zit. in: Quigg 1993, S. 634
[51] vgl. Titman / Torous 1989, zit. in: Quigg 1993, S. 634-635
[52] vgl. Geltner u.a. 2007, S. 185

### 4.6.2. Untersuchung in U.K.

Patel / Sing[53] präsentieren in ihrer Studie implizite jährliche Volatilitäten für U.K. Geschäftsimmobilien in den Jahren 1984-1997. Die Studie unterscheidet die Sektoren Industrie, Büro und Retail, zudem gliedert sie Grossbritannien resp. U.K in 20 verschieden Regionen.

Jährliche implizite Volatilitäten nach Sektoren 1984 bis 1997

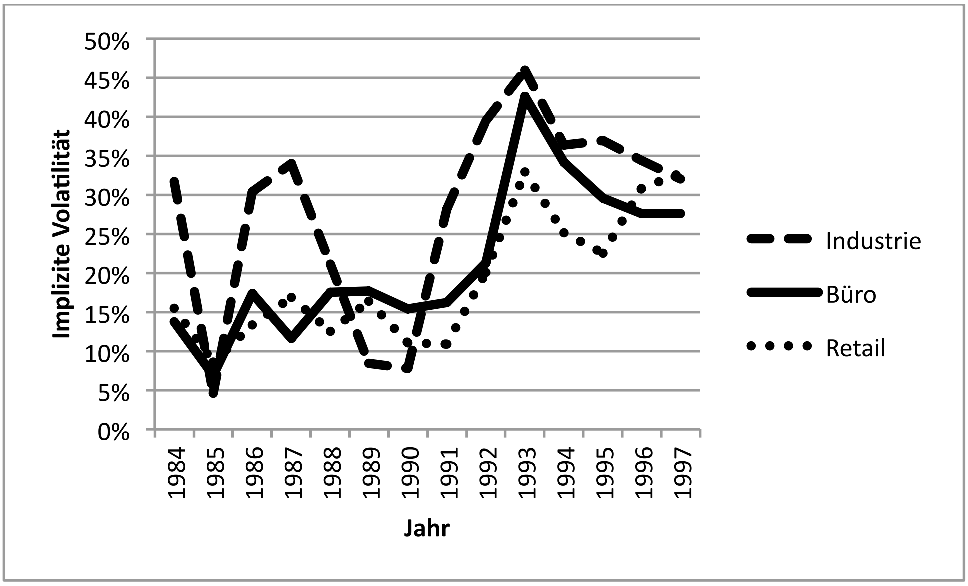


Abb. 4: Jährliche implizite Volatilitäten U.K., Daten von Patel / Sing 2000, S. 14

| Jahr | Industrie | Büro | Retail |
|---|---|---|---|
| 1984 | 31.7% | 13.7% | 15.5% |
| 1985 | 4.6% | 6.9% | 8.6% |
| 1986 | 30.4% | 17.4% | 13.4% |
| 1987 | 34.0% | 11.6% | 16.9% |
| 1988 | 21.2% | 17.6% | 12.5% |
| 1989 | 8.5% | 17.7% | 16.4% |
| 1990 | 7.8% | 15.4% | 11.1% |
| 1991 | 28.2% | 16.2% | 10.9% |
| 1992 | 39.5% | 21.3% | 20.1% |
| 1993 | 46.0% | 42.6% | 32.9% |
| 1994 | 36.4% | 34.2% | 25.1% |
| 1995 | 37.0% | 29.6% | 22.5% |
| 1996 | 34.5% | 27.6% | 30.8% |
| 1997 | 32.0% | 27.6% | 32.8% |

Tab. 4: Jährliche implizite Volatilitäten U.K., Daten gerundet, vgl. Patel / Sing 2000, S. 14

[53] vgl. Patel / Sing 2000, S. 14

Die Volatilitäten nach Sektoren bewegen sich grösstenteils zwischen 10% und 35% mit Ausreissern nach unten bis ca. 5% und oben bis ca. 46%. Der Industriesektor zeigt grosse Schwankungen der Volatilität über die Jahre. Aber auch Büro und Retail verzeichnen anfangs der 90er Jahre einen plötzlichen und massiven Anstieg der impliziten Volatilität. Es muss also mit starken Schwankungen der Volatilität gerechnet werden.

Jährliche implizite Volatilitäten nach Regionen

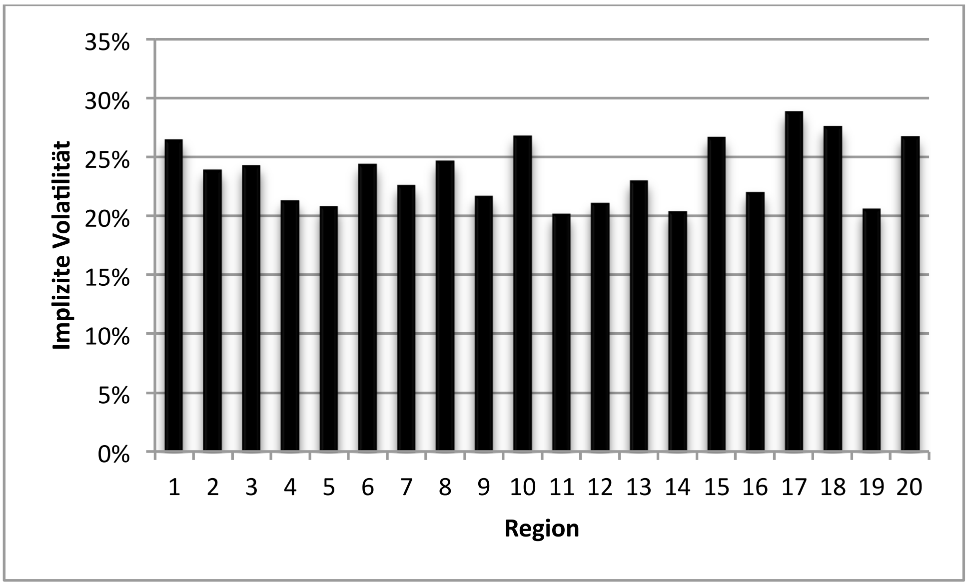


Abb. 5: Jährliche implizite Volatilitäten nach Regionen, U.K., vgl. Patel / Sing 2000, S. 14

In den Regionen sieht die Situation ausgeglichener aus. Die untere Grenze der Volatilität liegt bei ca. 20%, die obere bei knapp 30%. Die Regionen 1-4 mit Volatilitäten von 21.2-26.4% repräsentieren verschiedene Stadtteile von London. Das zeigt, dass in verschiedenen Stadtquartieren unterschiedliche Immobilien-Volatilitäten vorkommen können.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die meisten Studien Volatilitäten von individuellen Immobilien zwischen 15 und 30% gefunden haben. Einzelne Werte können für ein paar Jahre darunter oder darüber liegen. Die implizite Volatilität einer individuellen Immobilie ist aber wesentlich höher als die eines Immobilien-Index, die üblicherweise im Bereich von 4-8% liegt. Volatilitätswerte aus Immobilien-Indices sollten deshalb bei der Berechnung einer einzelnen Immobilie nicht verwendet werden.

# 5. Realoptionsanalyse

## 5.1. Ausgangslage

Ein dreistöckiges Haus steht in einer Bauzone, die vier Stockwerke erlaubt. Soll die Möglichkeit der Zone voll ausgenützt werden, kann es einerseits um ein Stockwerk erhöht, oder andererseits durch einen vierstöckigen Neubau ersetzt werden. Eine Aufstockung oder ein Ersatzneubau wird nur realisiert, wenn damit der Wert der Immobilie erhöht wird.

Um die Analyse zu vereinfachen und nicht mit bautechnischen Fragen zu belasten, wird ein fiktives Haus betrachtet, das auf den drei Stockwerken je eine Wohnung von 100 $m^2$ hat. Für die Berechnung des Immobilienwertes und der Baukosten werden möglichst lagegerechte Quadratmeter-Mieten und aktuelle Kubikmeterpreise verwendet.

### 5.1.1. Fragestellungen

Wenn eine höhere Ausnutzung durch Aufstockung der bestehenden Liegenschaft möglich ist, gibt es grundsätzlich drei Fragekomplexe zu beantworten.

1. Welchen Wert generiert eine Aufstockung?
2. Welchen Wert generiert ein Ersatzneubau?
3. Welche Massnahme generiert mehr Wert, Aufstockung oder Ersatzneubau?

Um die Fragen zu beantworten werden die Projekte zunächst mit der DCF-Methode bewertet und danach noch mit einer Aufschubsoption berechnet. Durch Variation des wichtigsten Parameters, der Volatilität der Immobilie, wird bestimmt in welcher Situation die Aufschubsoption eine Wert hat, wie hoch er ist und welches der optimale Ausübungszeitpunkt ist.

Die Fragestellungen werden nacheinander bearbeitet und die Resultate gleich im Anschluss dazu präsentiert. Werte, die auch für die Beantwortung der weiteren Fragen verwendet werden können, werden nicht ein zweites Mal berechnet.

### 5.1.2. Annahmen

Die erste Annahme wird vorausgesetzt, damit die Optionsmodelle angewendet werden können. Die weiteren dienen zur Reduktion der Komplexität des Problems, sollten aber das grundsätzliche Resultat, ob eine werthaltige Aufschubsoption vorliegt, nicht in Frage stellen.

1. Die Wachstumsraten der Immobilienpreise folgen einem geometrisch stochastischen Prozess mit Normalverteilung (dessen Weiterentwicklung nur vom letzten Wert abhängt).
2. Die Baukosten nehmen mit einer konstanten Wachstumsrate zu und sind deshalb nicht mit Unsicherheit behaftet.
3. Das Bauprojekt wird augenblicklich realisiert, die Bauzeit ist Null.
4. Es gibt keinen Mietunterbruch und keine Leerstände
5. Die Abbruchkosten betragen Null

### 5.1.3. Untersuchtes Beispiel

Das fiktive Haus erwirtschaftet je nach Zustand entweder die Median-Miete pro $m^2$ von CHF 340 pro Jahr (Altbau) oder die 70%-Quantil-Miete von CHF 400 pro Jahr (Neubau). Diese Mietpreisverteilung entspricht dem Zürcher Stadtkreis 6 [54] und liegt oberhalb der entsprechenden Werte der gesamten Stadt Zürich sowie der gesamten Schweiz. Für die Bewertung werden die Netto Cash Flows mit einem Diskontierungssatz von 5.5% abdiskontiert.

### 5.1.4. Methodisches Vorgehen

Das Vorgehen richtet sich nach dem zu analysierenden Problem. Für den allgemeinen Fall schlagen Copeland / Antikarov[55] einen vierstufigen Prozess vor: Berechnung des Basisprojektes ohne Flexibilität, Modellierung der Unsicherheit im Ereignisbaum, Einbauen von Entscheidungsflexibilität in den Entscheidungsbaum, Durchführung der Realoptionsanalyse (ROA).

Für die vorliegende Untersuchung wird dieser allgemeine Ansatz etwas abgeändert und enthält die folgenden Schritte:

1. Da es sich um ein fiktives Beispiel handelt, muss zunächst die Ausgangslage bewertet werden. Der Wert des dreistöckigen Altbaus wird geschätzt. Dieser Wert kann für alle drei Fragestellungen verwendet werden.
2. Das Projekt wird ohne Flexibilität mit der DCF-Methode berechnet.

---

[54] vgl. Wüest & Partner AG 2011: Immo-Monitoring, Mietwohnungen, Zürich Kreis 6, Erhebungsstand 30.6.2011, aktualisiert am 20.7.2011, Nettomiete pro $m^2$ und Jahr für standardisierte 4-Zimmer-Mietwohnungen

[55] vgl. Copeland / Antikarov 2003, S. 220

3. Es wird abgeklärt, ob eine Option vorliegt, wie sie ausgeübt werden kann und ob diese Handlung einen Einfluss auf andere Optionen hat.
4. Das Projekt wird mit Option berechnet. Durch Variation der Volatilität wird versucht, kritische Werte zu eruieren.
5. Die verschiedenen Fragestellungen und Berechnungen werden miteinander verglichen.

### 5.1.5. Verwendete Modelle

Für die Bewertung der bisherigen Immobilie und der Projekte ohne Flexibilität wird ein einfaches DCF-Modell mit einem Diskontierungssatz von 5.5% verwendet, das nicht näher erläutert wird. Das Aufstockungsprojekt wird mit der Samuelson-McKean Formel und ebenso mit einem Binomialmodell berechnet. Das Neubauprojekt sowie der Vergleich zwischen Neubau und Aufstockung werden nur mit einem Binomialmodell gerechnet, da in diesem Fall auch die Wertschwankungen des Altbaus miteinbezogen werden müssen.

Die Samuelson-McKean Formel wird so verwendet, wie sie Geltner dargestellt hat. Neben dem Ausübungspreis resp. den Kosten ($K_0$) und dem Barwert des Projekts ($V_0$) gehen noch die Nettorendite ($y_V$), die Konstruktionskosten-Rendite ($y_K$) und die Volatilität des Immobilienwertes ($\sigma_V$) in diese Formel ein. Folgende Werte werden verwendet:

Nettorendite: $y_V = 4.5\%$

Konstruktionskosten-Rendite: $y_K = 0.5\%$

Dabei wird der risikolose Zinssatz ($r_f$) mit 2% und die Wachstumsrate der Baukosten ($g_K$) mit 1.5%[56] angenommen. $y_K = (1+r_f)/(1+g_K)-1$

Volatilität: Als Basis wird eine Volatilität des Immobilienwertes von 20% angenommen. Folgende Werte für die Volatilitätsabschätzung werden vorgeschlagen:

Tief: 10%

Normal 15%, 20%

Hoch: 25%, 30%.

---

[56] vgl. Schweizer Baudokumentation 2010, BIN 01430.10, Zürcher Index der Wohnbaupreise (eigene Berechnung mittels natürlicher Logarithmen): Von 1987 -2010 betrug das durchschnittliche jährliche Wachstum der Baukosten 1.6%.

Für die Binomial-Methode wird ein Excel Spread-Sheet verwendet (siehe Anhang), das die jeweiligen Ereignisbäume für Entwicklung des Immobilienwertes und des Ausübungspreises (Baukosten und eventuell Wert des Altbaus), sowie der stufenweisen Optionsbewertung separat darstellt. Es werden die gleichen Werte verwendet wie bei der Samuelson-McKean Formel. Die Wachstumsrate des Immobilienwertes pro Binomial-Stufe wird nach Cox-Ross-Rubinstein mit $u = \exp(\sigma\sqrt{T})$, $d = 1/u$ berechnet, wobei $T = 1$ Jahr beträgt. Die so berechneten Immobilienwerte werden mit der Nettorendite von 4.5% abdiskontiert. Das ist quasi die Dividende, die dem Inhaber der Aufschubsoption entgeht, solange er nicht ausübt. Die Baukosten wachsen mit der konstanten Wachstumsrate von 1.5%. Die Realoption wird vom Verfall im Jahr 11 zurückgerechnet. Im Verfalljahr hat sie entweder einen positiven (inneren) Wert oder Null. Die Optionswerte in den vorherigen Jahren werden mit den risikoneutralen Wahrscheinlichkeiten berechnet: $p_u=(1+r_f-d)/(u-d)$, $p_d=1-p_u$. In jedem Schritt wird der Wert der Option mit dem Wert der Ausübung (V-K) verglichen und maximiert. Mit dieser Art des Zurückrechnens ergibt sich im Jahr Null der Wert der Realoption.

## 5.2. Welchen Wert generiert eine Aufstockung?

### 5.2.1. Wert des bestehenden dreistöckigen Wohnhauses (Altbau)

Das bestehende Wohnhaus (A) hat 3 Wohnungen zu je 100m$^2$ und generiert Mieteinnahmen von CHF 340 pro m$^2$ und Jahr (Medianmiete). Das sind total pro Jahr CHF 102'000. Für Betrieb und Verwaltung werden CHF 42 pro m$^2$ und Jahr eingesetzt[57], oder insgesamt CHF 12'600, was Netto-Mieteinnahmen von CHF 89'400 ergibt. In der DCF Berechnung werden diese Netto-Mieteinnahmen in den Jahren 1-10 eingesetzt und mit 5.5% abdiskontiert. Der Restwert im Jahr 11 wird mit einem jährlichen Instandsetzungsfond von 1.5 % der Neubaukosten (siehe weiter unten) belastet, was CHF 4'500 pro Jahr und Wohnung ausmacht oder gesamthaft CHF 13’500. Der Restwert wird mit 4.5% kapitalisiert und mit 5.5% abdiskontiert. Der so ermittelte Wert des Wohnhauses (Altbau) $A_0$ ist CHF 1.61 Mio.

[57] vgl. pom+Consulting AG 2009, FM Monitor 2009, S. 40

### 5.2.2. Berechnung der Aufstockung ohne Flexibilität

Die Baukosten (K) werden mit dem Kubikmeterpreis nach SIA 416 abgeschätzt, der gemäss Zürcher Index der Wohnbaupreise[58] vom 1.4.2010 CHF 656.77 beträgt. Die Kubatur einer Wohnungseinheit wird ausgehend von einer Wohnfläche von $100m^2$, einer Stockwerkhöhe von 3 Metern und einem Verhältnis von Geschossfläche zu vermietbarer Wohnfläche von 1.3 berechnet: $100m^2$ x 3m x 1.3 = $390m^3$. Zu einem Kubikmeterpreis von ca. CHF 660 und zusätzlichen Kosten von 15% betragen die Baukosten CHF 296'000 oder aufgerundet CHF 300'000 pro Wohnung resp. Stockwerk. Zu diesen Kosten wird eine Pauschale für diverse Anpassungen des Altbaus von CHF 200'000 dazugezählt. Die gesamten Baukosten ($K_0$) betragen somit CHF 500'000.
Der Barwert (PV) der neuen Wohnung beträgt, unter der Annahme der gleichen Miete, einen Drittel des dreistöckigen Altbaus und somit CHF 537'000.

Das Projekt hat ohne Flexibilität einen positiven Nettobarwert (NPV = PV - $K_0$ ) von 537’000-500'000 = CHF 37’0000. Es würde nach der NPV-Regel sofort realisiert.

### 5.2.3. Abklärung bezüglich Optionen

Die Aufstockung ist eine irreversible Investition, die aufgeschoben werden kann. Es liegt somit eine Aufschubsoption vor. Gebäude halten im Gegensatz zu Land nicht ewig, so dass diese Aufschubsoption nicht oder nur im Grenzfall als ewige Option dargestellt werden kann. Wie lange die Optionsfrist ist, kommt auf die Situation an. Beispielsweise wäre es möglich eine Aufstockung mit einer Sanierung zu verbinden. Die Optionsfrist wäre dann so lange, wie die Sanierung aufgeschoben werden kann. Ansonsten könnte - analog zur DCF Methode - eine Option über 10 Jahre modelliert werden mit Verfall im 11. Jahr.
Die Option aufzustocken, kann im vorliegenden Fall sicher ausgeübt werden, da sie bereits zu Beginn einen inneren Wert von CHF 37'000 aufweist. Es bleibt zu klären, wann der beste Ausübungszeitpunkt ist.
Neben der Aufstockung besteht auch die Option, einen Ersatzneubau zu realisieren. Diese zweite Option wird durch Ausübung der Aufstockung vernichtet oder resp. ihr Ausübungspreis wird um den Barwert der Aufstockung erhöht. Diese Konstellation wird in der 3. Fragestellung behandelt.

---

[58] vgl. Schweizer Baudokumentation 2010, BIN 01430.30: Zürcher Index der Wohnbaupreise, Entwicklung der Kubikmeterpreise SIA (416)

### 5.2.4. Berechnung der Aufstockung mit Realoptionen

Die Berechnung mit der Samuelson-McKean Methode mit einem Ausübungspreis von CHF 500'000 (Baukosten) ergab in Abhängigkeit von der Volatilität folgende Resultate:

| Volatilität | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |
|---|---|---|---|---|---|
| Optionswert | 41’000 | 61’000 | 89’000 | 119’000 | 149’000 |
| Schwellenwert | 561’000 | 636’000 | 740’000 | 870’000 | 1’030’000 |
| Schwellenwert-Kostenrelation | 1.12 | 1.27 | 1.48 | 1.74 | 2.06 |

Tab. 5: Realoption Aufstockung nach Samuelson-McKean Formel, Options- und Schwellenwert in CHF

Auch bei einer tiefen Volatilität von 10% würde nach dieser Berechnung die Option nicht ausgeübt und das Projekt aufgeschoben, da der Optionswert über dem Nettobarwert liegt. Die folgende Wertgleichung muss erfüllt sein:

$$Baukosten + Realoption \leq Barwert\ Projekt$$

oder

$$Realoption \leq Barwert - Kosten = NPV$$

Die Situation lässt sich auch graphisch darstellen. Die Ausübungsgrenze entspricht den positiven Werten des Nettobarwerts (NPV), d.h. dem inneren Wert der Option. Je höher die Volatilität, desto höher ist der Optionswert, was sich in den höheren Optionswertkurven widerspiegelt. Der Schwellenwert befindet sich im Tangentialpunkt der Optionswertkurve mit der Ausübungsgrenze (in Abb. 6 eigezeichnet). Für einen Immobilienwert von CHF 537'000 ($V_0$) und einer Volatilität von 20% beträgt der Optionswert CHF 89'000.

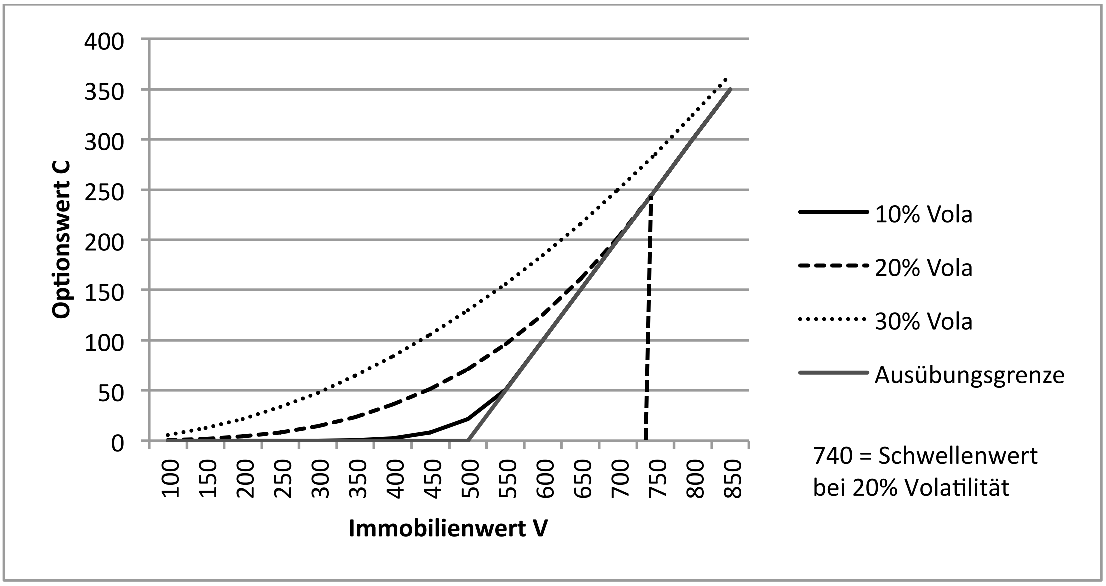


Abb. 6: Optionswert als Funktion des Immobilienwerts und der Volatilität, Angaben in CHF 1’000

Mit dem jährlichen Binomial-Modell sieht das Ergebnis etwas anders aus. Wie Tabelle 6 zeigt, sind die berechneten Optionswerte als Funktion der Volatilität durchwegs tiefer als mit der Samuelson-McKean Methode. Nach dieser Berechnung würde die Option bei 10% Volatilität sofort ausgeübt, da der Optionswert dem berechneten Nettobarwert ohne Flexibilität entspricht. Bei höherer Volatilität würde das Projekt aufgeschoben.

| Volatilität | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |
|---|---|---|---|---|---|
| Optionswert | 37’000 | 55’000 | 78’000 | 104’000 | 129’000 |

Tab. 6: Realoption Aufstockung nach jährlichem Binomial-Modell, Optionswert in CHF

Zudem wird kein Schwellenwert ausgerechnet, sondern das Resultat in Form eines binomialen Entscheidungsbaumes dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt den Ausschnitt der ersten sieben Jahre. In der obersten Reihe sind alle Werte, die bei jeder Stufe durch eine Wertzunahme entstanden sind. Die Reihe darunter hat einen Wertrückgang zu verzeichnen, die nächste Reihe einen mehr usw. Die Ausübungsereignisse sind fett markiert, wobei immer das Erste in einer Reihe ausgeübt würde.

Binomialbaum für Option (C) $C_{n,m} = Max(V_{n,m}-X_{n,m};( p_u*C_{n+1,m}+p_d*C_{n+1,m+1})/(1+r_f))$

| Jahre (n) -> | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anz. "down" (m) | | | | | | | | |
| 0 | 78 | 131 | **218** | **335** | **471** | **633** | **822** | **1'045** |
| 1 | | 28 | 49 | 85 | 146 | **247** | **371** | **518** |
| 2 | | | 8 | 15 | 28 | 51 | 93 | **164** |
| 3 | | | | 2 | 3 | 6 | 12 | 25 |
| 4 | | | | | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | | | | | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | | | | | | | 0 | 0 |
| 7 | | | | | | | | 0 |

Abb. 7: Binomialer Entscheidungsbaum Aufstockung, 20% Volatilität, Optionswerte in CHF 1’000

Nach dieser Berechnung würde die Option im 2. Jahr ausgeübt, falls ihr Wert dann CHF 218’000 beträgt. Diese Darstellung gibt ein ungefähres Bild eines möglichen Ausübungsschemas. Zu Beginn ist der Zeitwert einer Option noch hoch und deshalb wird bei hohen Werten ausgeübt. Gegen Ende der Laufzeit ist der Zeitwert klein und die Ausübung findet beim oder knapp über dem Nettobarwert statt. Eine Null bedeutet, dass der Immobilienwert so weit zurückgegangen ist, dass er unter den Projektkosten liegt. Eine sofortige Realisierung würde also zu einem Verlust führen, wenn die

Immobilienwerte mindestens vier Jahre lang mit der entsprechenden Rate sinken. Die Option ist aber im Minimum Null wert.

### 5.2.5. Vergleich

Mit der Samuelson-McKean berechnete Optionswerte sind durchwegs höher als die mit der Binomial-Methode berechneten. Das hängt einerseits mit der ewigen Optionsfrist und andererseits mit der kontinuierlichen Art der Berechnung der Samuelson-McKean Formel zusammen. Mit dem dargestellten Binomialmodell werden keine Schwellenwerte berechnet, dafür die möglichen Werte der Option in einem Ereignisbaum gezeigt.

### 5.2.6. Diskussion

Die Aufstockung generiert Wert mit der NPV-Methode sowie in Form der Realoption. Da der Wert der Realoption bei einer Volatilität über 10% höher ist als der Nettobarwert, wird das Projekt in diesen Fällen nicht sofort realisiert. Dieses Resultat kann als Schutz vor möglichen zukünftigen Verlusten interpretiert werden. Die Preise von Immobilien können sich in beide Richtungen entwickeln und im negativen Fall drohen Verluste. Dieser Schutz ist umso wertvoller, je höher die Preisvolatilität ist.

Man kann sich nun fragen, welche der beiden Berechnungs-Methoden besser geeignet ist. Für unbebautes Land ist es sicher die von Samuelson-McKean, weil Land über die Zeit nicht vergeht. Bestehende Gebäude verlieren jedoch über die Zeit ihren physischen und funktionellen Wert. Analysen mit Realoptionen sind besonders im Zeitpunkt einer geplanten Sanierung interessant. Und diese kann nicht beliebig weit in die Zukunft verschoben werden, ohne dass das Gebäude an Wert verliert. Deshalb ist es eine der Stärken des Binomialmodells, die vorhandene Flexibilität innerhalb eines bestimmten Zeitraums zu modellieren.

## 5.3. Welchen Wert generiert ein Ersatzneubau?

### 5.3.1. Ausgangslage

Der Wert des dreistöckigen Wohnhauses wurde bereits auf CHF 1.61 Mio. berechnet.

### 5.3.2. Berechnung des Neubaus ohne Flexibilität

Die Baukosten für ein Wohnhaus mit 4 identischen Stockwerken betragen 4 x CHF 300'000 = CHF 1.20 Mio. Es wird angenommen, dass das neue Wohnhaus die $m^2$-Miete des 70%-Quantils erwirtschaftet, d.h. CHF 400 pro $m^2$ und Jahr. Der Barwert des Neubau-Projektes nach DCF-Methode berechnet beträgt CHF 2.62 Mio. für die Bewertung des gesamten Projektes müssen alle Cash Flows berücksichtigt werden, auch die wegfallenden. Der Nettobarwert des Projekts ohne Flexibilität folgt aus der Wertgleichung:

$$Barwert\ Neubau = Baukosten + Wert\ Altbau$$

$$Nettobarwet = Wert\ Neubau - Baukosten - \ Wert\ Altbau$$

Der Nettobarwert dieses Projekts ist negativ (CHF 2.62 – 1.20 – 1.61 Mio. = CHF -0.19 Mio.). Das Projekt ohne Flexibilität wird nicht realisiert.

### 5.3.3. Abklärung bezüglich Optionen

Grundsätzlich ist die Situation gleich wie bei der Aufstockung. Ein Ersatzneubau ist irreversibel und es besteht die Möglichkeit eines Aufschubs. Es kann also ein Zeitwert generiert werden. Die Realisierung des Ersatzneubaus vernichtet die Aufstockungs-option, da der Neubau von Beginn weg mit vier Stockwerken konstruiert wird. Die Gesamtkosten des Ersatzneubaus bestehen aus den Baukosten und dem wegfallenden Wert der Cash Flows aus dem Altbau. Auch dieser Wert schwankt und muss mit einer bestimmten Volatilität berücksichtigt werden. Nun stellt sich die Frage, ob die Volatilität des Neu- und Altbaus gleich sein müssen. Die Lage und das Zinsumfeld sind für beide Bauten gleich, was für eine identische Volatilität spricht. Allerdings kann man sich auch verstellen, dass die Mieteinnahmen im bisherigen Altbau nicht so stark schwanken, wie die erwarteten Mieten des Neubaus, und deshalb für den Altbau eine tiefere Volatilität verwendet wird. Die Volatilität des Altbaus kann aber auch hoch sein, z.B. im Zeitpunkt einer geplanten Sanierung.

Das verwendete Binomial-Modell ist einfach aufgebaut. Die Werte des Altbaus bewegen sich immer in die gleiche Richtung wie die des Neubaus. Um einen Diversifikationseffekt zu simulieren, könnte die Altbau-Volatilität etwas tiefer angesetzt werden. In den weiteren Berechnungen werden jedoch identische Volatilitätswerte für Neu- und Altbau verwendet, um die Vergleichbarkeit der Resultate zu erhalten.

### 5.3.4. Berechnung des Ersatzneubaus mit Realoptionen

Diese Berechnung wird nur mit dem Binomial-Modell durchgeführt, weil auch der unsichere Wert der Altbau Cash Flows modelliert wird. Die Anfangsparameter sind:

Barwert Neubau ($V_0$): CHF 2.62 Mio.

Barwert Altbau ($A_0$): CHF 1.61 Mio.

Baukosten ($K_0$): CHF 1.20 Mio.

Der Ausübungspreis (X) besteht aus der Summe von Altbau (A) und Baukosten (K). Die aus der Binomial-Verteilung erhaltenen Werte des Neu- sowie des Altbaus werden mit der Nettorendite von 4.5% abdiskontiert. Beim Neubau entspricht das den entgangenen Dividenden, solange die Option nicht ausgeübt und der Bau nicht realisiert ist. Der Altbau geht als Kostenkomponente in die Berechnung ein. Während er noch steht, die Neubau-Option also nicht ausgeübt ist, wird die Nettorendite verdient und muss deshalb von den Kosten abgezogen werden. Die Baukosten steigen mit der konstanten Wachstumsrate von 1.5%.

In Abhängigkeit der Volatilität ergeben sich folgende Werte für die Realoption:

| Volatilität | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |
|---|---|---|---|---|---|
| Optionswert | 4’000 | 32’000 | 76’000 | 121’000 | 172’000 |

Tab. 7: Realoption Neubau nach jährlichem Binomial-Modell, Optionswert in CHF

Tabelle 7 gibt die Werte der Realoption im Zeitpunkt Null wieder. Bei einer Volatilität von 10% ist der Optionswert mit CHF 4'000 klein und steigt dann bis CHF 172'000 bei einer Volatilität von 30% an. Das Bild ist unvollständig ohne den Ereignisbaum und die mögliche Entwicklung über die Zeit darzustellen. Abbildung 8 zeigt die Werte bei einer Volatilität von 20%. Im Jahr Null ist der Optionswert wie erwähnt CHF 76'000 und steigt dann in der obersten Reihe, mit jährlichen Wertzuwächsen stetig an, um im Jahr 7 CHF 1'678'000 zu erreichen. Die zweite Reihe verzeichnet einen Wertrückgang der Immobilie, die dritte Reihe zwei Wertrückgänge usw. Ausübungen sind fett markiert, wobei immer die erste Möglichkeit in einer Reihe wahrgenommen wird. Im vierten Jahr könnte die Option ausgeübt und der Neubau erstellt werden, wenn bis dann nur Wertzuwächse realisiert werden. Bei einen Wertrückgang im Ereignispfad könnte im sechsten Jahr bei einem Optionswert von CHF 414'000 ausgeübt werden.

| Binomialbaum für Option (C) | | | $C_{n,m} = Max(V_{n,m}-X_{n,m};( p_u*C_{n+1,m}+p_d*C_{n+1,m+1})/(1+r_f))$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jahre (n) -> | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Anz. "down" (m) | | | | | | | | |
| 0 | 76 | 130 | 219 | 368 | **611** | **910** | **1'263** | **1'678** |
| 1 | | 25 | 45 | 80 | 140 | 242 | **414** | **686** |
| 2 | | | 6 | 12 | 23 | 43 | 80 | 146 |
| 3 | | | | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 |
| 4 | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | | | | | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | | | | | | | 0 | 0 |
| 7 | | | | | | | | 0 |

Abb. 8: Binomialer Entscheidungsbaum Neubau, 20% Volatilität, Optionswerte in CHF 1'000

### 5.3.5. Vergleich

Im Zeitpunkt Null sind die absoluten Optionswerte des Neubaus mit Volatilitäten von 10-20% kleiner und mit 25-30% grösser als die der Aufstockung. Bei höheren Volatilitäten sind auch die Optionswerte des Neubaus höher. Über die Zeit nehmen die Optionswerte im positiven Fall mit höchstens einem Wertrückgang stärker zu als die Aufstockungsoption. Bei drei oder vier Wertrückgängen ist die Aufstockungsoption in den Jahren 4, 5 und 6 wiederum mehr Wert.

### 5.3.6. Diskussion

Ein Ersatzneubau generiert ohne Aufschubs-Flexibilität im vorliegenden Beispiel keinen Wert. Die Realoption, das Projekt aufschieben zu können, hat aber einen Wert. Hier besteht er in der Möglichkeit, später und bei höheren Immobilienpreisen, das Projekt doch noch realisieren zu können. Während die Aufstockungsoption als Vermeidung eines zukünftigen Verlustes interpretiert werden kann, wird die Neubauoption als Möglichkeit interpretiert, in Zukunft ein gewinnbringendes Projekt lancieren zu können.

## 5.4. Was generiert mehr Wert, Aufstockung oder Ersatzneubau?

### 5.4.1. Ausgangslage

Die Ausgangslage ist unverändert.

### 5.4.2. Berechnung ohne Flexibilität

Beide Projekte wurden bereits ohne Flexibilität berechnet.

### 5.4.3. Abklärung bezüglich Optionen

Die Überlegungen zu den einzelnen Optionen wurden bereits dargelegt. Die Frage ist nun, wie die beiden Realoptionen in einem Vergleich der beiden Projekte beurteilt werden müssen. Unter der Annahme, dass die Ausübung der einen Option die andere vernichtet, kann folgende Wertegleichung aufgestellt werden:

$$Wert\ der\ Liegenschaft = Wert\ Altbau + Max(Aufstockung, Neubau)$$

Um den Gesamtwert der Liegenschaft zu berechnen wird zum Barwert der Cash Flows aus dem Altbau die höher bewertete (Maximum) Realoption dazu gezählt. Das kann dazu führen, dass bei gemeinsamer Betrachtung von zwei Projekten eine Option nicht mehr ausgeübt wird, während die Ausübung im einzelnen Projekt gegeben ist.

### 5.4.4. Simultane Berechnung beider Projekte

Um die Berechnungen resp. die Wertegleichungen einfacher darstellen zu können, werden die verwendeten Variablen definiert:

Wert der Liegenschaft: L

Wert des Altbaus: A

Wert Neubau: $V_{Neu}$; Aufstockung $V_{Auf}$

Wert der Realoption: Neubau: $C_{Neu}$; Aufstockung $C_{Auf}$

Baukosten: Neubau: $K_{Neu}$, Aufstockung: $K_{Auf}$

Im Excel Spreadsheet können die bereits berechneten Werte auf einer neuen Seite zusammengefasst werden. Die Wertegleichungen sind unten aufgeführt. Zuerst wird der Wert der Liegenschaft berechnet:

$$L = A + Max(C_{Neu}, C_{Auf})$$

Danach wird die Ausübungsbedingung für das Aufstockungsprojekt berechnet:

$$A + V_{Auf} - K_{Auf} \geq L = A + Max(C_{Neu}, C_{Auf})$$

Damit die Aufstockungsoption ausgeübt wird, muss der Nettobarwert der Aufstockung ($V_{Auf}$ –$K_{auf}$) zusammen mit dem Wert des Altbaus (A) gleich gross oder grösser als der Liegenschaftswert (L) sein.

Die Ausübungsbedingung für den Neubau unterscheidet sich von der Aufstockung:

$$V_{Neu} - K_{Neu} \geq L = A + Max(C_{Neu}, C_{Auf})$$

Wird ein Ersatzneubau erstellt, so wird der Altbau abgerissen und geht deshalb nicht in die linke Seite der Gleichung ein, wie bei der Aufstockung.

Diese Berechnungen berücksichtigen die verschiedenen Grössenordnungen der beiden Projekte nicht. Massgebend für die Bewertung sind lediglich die Wertdifferenzen, d.h. die Renditen der Kapitalkosten resp. Erträge. Selbstverständlich spielen Grössenordnungen in der Realität eine Rolle. Sei es weil beispielsweise ein privater Investor nur eine bestimmte Projektgrösse finanzieren kann, oder ein institutioneller Investor mit Anlagedruck grössere Projekte begrüsst. In diesem Fall werden Grössenunterschiede aber nicht berücksichtigt.

### 5.4.5. Resultate und Vergleich

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die Nettobarwerte des Aufstockung- und des Neubau-Projekts zu verschiedenen Zeiten im Ereignisbaum. Ein Wert von Null bedeutet, dass die Option keinen Zeitwert mehr hat und deshalb ausgeübt wird. Interessanterweise wird die Aufstockung erst im Jahr 5 im Falle von vier Wertsteigerungsschritten und eines Wertrückgangs ausgeübt. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich in Jahr 7 bei insgesamt zwei Wertrückgangsschritten. Die Neubau-Option kann dagegen schon im 4. Jahr ausgeübt werden, falls sich bis dahin nur Wertsteigerungen ergeben. Im 6. Jahr gäbe es für den Neubau eine weitere Möglichkeit bei einem Wertrückgangsschritt, aber die wäre im Jahr 5 bereits durch die Ausübung der Option zur Aufstockung weggeschnappt worden.

| **Aufstocken falls** | Altbau + Aufstockung - Baukosten ≥ Altbau + Max($C_{neu}$, $C_{aufstock}$) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jahre (n) -> | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Anz. "down" (m) | | | | | | | | |
| 0 | -41 | -11 | -1 | -33 | -140 | -278 | -441 | -633 |
| 1 | | -115 | -73 | -34 | -5 | **0** | -43 | -168 |
| 2 | | | -194 | -153 | -109 | -64 | -24 | **0** |
| 3 | | | | -266 | -232 | -192 | -147 | -98 |
| 4 | | | | | -328 | -302 | -271 | -233 |
| 5 | | | | | | -380 | -361 | -338 |
| 6 | | | | | | | -423 | -410 |
| 7 | | | | | | | | -458 |

Abb. 9: Binomialer Entscheidungsbaum Aufstockung im direkten Vergleich mit Neubau, 20% Volatilität, Optionswerte in CHF 1'000

| Neubau falls | | Neubau - Baukosten ≥ Altbau + Max($C_{neu}$, $C_{aufstock}$) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jahre (n) -> | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Anz. "down" (m) | | | | | | | | |
| 0 | -268 | -169 | -76 | -10 | **0** | **0** | **0** | **0** |
| 1 | | -455 | -361 | -259 | -156 | -62 | **0** | **0** |
| 2 | | | -625 | -546 | -455 | -354 | -248 | -144 |
| 3 | | | | -771 | -709 | -635 | -549 | -450 |
| 4 | | | | | -893 | -848 | -793 | -725 |
| 5 | | | | | | -995 | -964 | -924 |
| 6 | | | | | | | -1'079 | -1'059 |
| 7 | | | | | | | | -1'149 |

Abb. 10: Binomialer Entscheidungsbaum Neubau im direkten Vergleich mit Aufstockung, 20% Volatilität, Optionswerte in CHF 1'000

Eine genauere Analyse zeigt, dass im Jahr 2, in welchem die Aufstockung ohne Neubau ausgelöst würde, nur eine Differenz von CHF 1'000 zwischen dem Wert der Aufstockung- und Neubauoption besteht. Dank dieser kleinen Differenz überlebt die Neubauoption und „verweist“ die Ausübung der Aufstockungsoption ins Jahr 5.

### 5.4.6. Diskussion

Die Möglichkeit eines Neubaus verdirbt die Aufstockungsparty, könnte man formulieren. Es zeigt sich, wie wichtig eine umfassende Analyse aller relevanten Optionen eines Projekts ist. Zudem kann aus der NPV-Methode nicht auf das optimale Projekt geschlossen werden, auch wenn sich ein NPV-positives und ein NPV-negatives gegenüberstehen.

Die Ereignisbäume erinnern an ein abgekartetes Rennen, bei dem der Sieger bereits von Anfang an feststeht. Die Zukunft ist jedoch nicht vorausbestimmt. Am Beginn dieser Analyse wurde festgestellt, dass eine Aufschubsoption vorliegt. Das wichtigste Resultat war, dass die Aufschubsoption einen Zeitwert besitzt und deshalb nicht sofort ausgeübt wird. D.h. man gewinnt mindestens die Zeit einer Periode, sei es ein Jahr oder ein Quartal, um sich mehr Informationen über die zukünftige Entwicklung zu verschaffen. Der mögliche Zeitgewinn zur Informationsbeschaffung ist das Wichtigste, was aus einer Analyse mit Realoptionen hervorgeht. Ob sich der Ereignisbaum bei einer nächsten Überprüfung ändert, ist zweitrangig. Man kann dannzumal seine Entscheidungen entsprechend anpassen.

# 6. Schlussbetrachtung

## 6.1. Fazit

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit war ein dreistöckiges Wohnhaus mit der Möglichkeit einen Stock höher zu bauen. Es wurden die Optionen Aufstockung und Neubau untersucht und miteinander verglichen. Es wurde aufgezeigt, wie anhand eines einfachen Modells die Problemstellung gelöst werden kann. Dabei wurden die dem Projekt inhärenten Realoptionen bewertet und der optimale Ausübungszeitpunkt hergeleitet.

Die Aufstockung weist einen positiven Nettobarwert auf und würde nach der NPV-Regel sofort realisiert. Der Wert der Realoption ist jedoch so hoch, dass das Projekt aufgeschoben wird. Im verwendeten Binomialmodell wäre eine Ausübung frühestens nach zwei Jahren gegeben. Der Neubau hat einen negativen Barwert und würde deshalb nicht sofort realisiert. Allerdings ist der Zeitwert hoch genug, damit diese Projekt „im Rennen“ bleibt. Nach der Berechnung im Binomialmodell wäre nach vier Jahren mit ständigem Wertzuwachs eine Realisierung des Neubaus möglich. Die Kombination der beiden Modelle bringt ein unerwartetes Ergebnis: Die Ausübung der Option zur Aufstockung wird ins Jahr 5 verschoben. In der Kombination wird zum Wert der bisherigen Liegenschaft der höhere Optionswert der beiden Projekte hinzuaddiert. Ab dem zweiten Jahr ist der Wert der Neubauoption höher als jener der Aufstockung. Das führt zu einer weiteren Verschiebung der möglichen Aufstockung.

## 6.2. Diskussion

Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig eine gründliche Analyse der möglichen Optionen eines Projektes ist. Die Optionsbetrachtung ergibt vor allem einen quantitativen Zeitwert. Zeit, die genutzt werden kann, um mehr Informationen über den Verlauf der Zukunft zu erhalten. Im untersuchten Beispiel wurde die Komplexität bewusst reduziert und die Annahmen auf das Nötigste vereinfacht. Trotzdem ist es gelungen, wichtige Erkenntnisse im Zusammenspiel zwischen zwei verschiedenen Optionen zum gleichen Objekt zu gewinnen. Man kann sich allerdings fragen, ob die eingesetzte Volatilität richtig ist und ob das simple Binomialmodell mit einer Periodenlänge von einem Jahr genügt, um das Problem ausreichend zu modellieren. Dem kann entgegnet werden, dass nicht das absolute Resultat wichtig ist, sondern der Prozess, der dazu führt. Das wichtigste Resultat ist die Information über die optimale Ausübung. Wird nicht sofort ausgeübt, so bleibt die Option bestehen. In einer nächsten Periode kann die Berechnung wiederholt und die Entscheidung entsprechend den neues Parametern oder Resultaten angepasst werden.

### 6.3. Ausblick

Obwohl eine der Stärken des vorliegenden Binomialmodells seine Einfachheit ist, kann es sicher verbessert werden. Eine Monte Carlo Analyse könnte die Werte den kontinuierlich berechneten Optionen annähern. Zudem wäre eine Studie über die Volatilitäten von individuellen Immobilien in der Schweiz wünschbar.

# Anhang

**Realoptionen Bewertung mit Binomial Methode**

**Variante Ersatzneubau**

| **Eingabeparameter** | **Eingabe** |
|---|---|
| Jährlicher risikoloser Zinssatz ($r_f$) | 2.0% |
| Immobilien Total Return ($r_V$) | 5.5% |
| **Neubau (V)** | |
| Neubau Nettorendite (cash yield, $y_V$) | 4.5% |
| Jährliche Volatilität (Standartabweichung, $\sigma$) | 20.0% |
| Neubau Anfangswert ($V_0$) | 2'620 |
| **Ausübungspreis (X) (Wert Altbau + Baukosten)** | |
| **Altbau (A)** | |
| Altbau Nettorendite (cash yield, $y_V$) | 4.5% |
| Altbau jährliche Volatilität (Standartabweichung, $\sigma_A$) | 20.0% |
| Altbau (Anfangs-)Wert ($A_0$) | 1'610 |
| **Baukosten (K)** | |
| Baukosten Wachstumsrate ($g_K$) | 1.5% |
| Baukosten Anfangswert ($K_0$) | 1'200 |
| Anzahl Schritte pro Jahr (fixiert) | 1 |
| Laufzeit der Option in Jahren (n) (fixiert) | 11 |

| **Berechnete Werte (Ausgabe)** | Neubau | Altbau | |
|---|---|---|---|
| Anstieg "up" pro Jahr | 1.22 | 1.22 | $u=\exp(\sigma * \sqrt{T})$ |
| Rückgang "down" pro Jahr | 0.82 | 0.82 | $d=1/u$ |
| Risikoneutrale Wahrscheinlichkeit "up" | 0.50 | 0.50 | $p_u=(1+r_f-d)/(u-d)$ |
| Risikoneutr. Wahrscheinlichkeit "down" | 0.50 | 0.50 | $p_d=1-p_u$ |
| Reale Wahrscheinlichkeit "up" | 0.59 | 0.59 | $p_{u\text{-real}}=((1+r_V)-1/u) / (u-1/u)$ |
| Reale Wahrscheinlichkeit "down" | 0.41 | 0.41 | $p_{d\text{-real}}=1-p_{u\text{-real}}$ |
| Baukostenrendite ($y_K$) | 0.5% | | $y_K=(1+r_f)/(1+g_K)-1$ |
| **Optionswert ($C_0$)** | **75.81** | | |

Erwartungswert von V

Binomialbaum für den Neubau (V)

$V_{n,m} = (V_0 u^{n-m} d^m)/(1+y_V)^n$

| Jahre (n) -> <br> Anz. "down" (m) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2'620 | 3'062 | 3'579 | 4'183 | 4'890 | 5'715 | 6'680 | 7'807 | 9'125 | 10'666 | 12'466 | 14'570 |
| 1 | | 2'053 | 2'399 | 2'804 | 3'278 | 3'831 | 4'478 | 5'233 | 6'117 | 7'149 | 8'356 | 9'767 |
| 2 | | | 1'608 | 1'880 | 2'197 | 2'568 | 3'001 | 3'508 | 4'100 | 4'792 | 5'601 | 6'547 |
| 3 | | | | 1'260 | 1'473 | 1'721 | 2'012 | 2'352 | 2'748 | 3'212 | 3'755 | 4'389 |
| 4 | | | | | 987 | 1'154 | 1'349 | 1'576 | 1'842 | 2'153 | 2'517 | 2'942 |
| 5 | | | | | | 773 | 904 | 1'057 | 1'235 | 1'443 | 1'687 | 1'972 |
| 6 | | | | | | | 606 | 708 | 828 | 968 | 1'131 | 1'322 |
| 7 | | | | | | | | 475 | 555 | 649 | 758 | 886 |
| 8 | | | | | | | | | 372 | 435 | 508 | 594 |
| 9 | | | | | | | | | | 291 | 341 | 398 |
| 10 | | | | | | | | | | | 228 | 267 |
| 11 | | | | | | | | | | | | 179 |

Binomialbaum für Option (C)

$C_{n,m} = \mathrm{Max}(V_{n,m}-X_{n,m};( p_u*C_{n+1,m}+p_d*C_{n+1,m+1})/(1+r_f))$

$C_{11} = \mathrm{Max}(V-X;0)$

| Jahre (n) -> <br> Anz. "down" (m) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 76 | 130 | 219 | 368 | 611 | 910 | 1'263 | 1'678 | 2'166 | 2'739 | 3'413 | 4'203 |
| 1 | | 25 | 45 | 80 | 140 | 242 | 414 | 686 | 1'006 | 1'384 | 1'829 | 2'352 |
| 2 | | | 6 | 12 | 23 | 43 | 80 | 146 | 266 | 475 | 767 | 1'110 |
| 3 | | | | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 33 | 67 | 136 | 278 |
| 4 | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 |
| 10 | | | | | | | | | | | 0 | 0 |
| 11 | | | | | | | | | | | | 0 |

Optimale Ausübung

ausüben falls V-X ≥ C

| Jahre (n) -> <br> Anz. "down" (m) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | halten | halten | halten | halten | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben |
| 1 | | halten | halten | halten | halten | halten | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben | ausüben |
| 2 | | | halten | halten | halten | halten | halten | halten | halten | ausüben | ausüben | ausüben |
| 3 | | | | halten | halten | halten | halten | halten | halten | halten | halten | ausüben |
| 4 | | | | | halten | halten | halten | halten | halten | halten | halten | halten |
| 5 | | | | | | halten | halten | halten | halten | halten | halten | halten |
| 6 | | | | | | | halten | halten | halten | halten | halten | halten |
| 7 | | | | | | | | halten | halten | halten | halten | halten |
| 8 | | | | | | | | | halten | halten | halten | halten |
| 9 | | | | | | | | | | halten | halten | halten |
| 10 | | | | | | | | | | | halten | halten |
| 11 | | | | | | | | | | | | halten |

## Literaturverzeichnis

Amin, K. / Capozza, D.R. (1993): Sequential Development, in: Journal of Urban Economics 34(1993), S. 142-158

Case, K.E. / Shiller, R.J. (1989): The efficiency oft he market for single-family homes, American Economic Review 79(1989), S. 125-137, zit. in: Quigg 1993

Copeland, T. / Antikarov, V. (2003): Real Options: A Practitioner’s Guide, New York, NY 2003

Cox, J.C. / Ross, S.A. / Rubinstein, M. (1979): Option Pricing: A Simplified Approach, zuerst publiziert in: Journal of Financial Economics, September (1979)

Geltner, D.M. u.a. (2007): Commercial Real Estate Analysis and Investments, second edition (international student edition), Mason, OH 2007

Howell, S. u.a. (2001): Real Options: Evaluating Corporate Investment Opportunities in a Dynamic World, Harlow, UK 2001

Ling, D.C. / Archer, W.R. (2010): Real Estate Principles: A Value Approach, third edition, New York, NY 2010

Müller-Möhl, E. (1995): Optionen und Futures, dritte Auflage, Zürich 1995

Patel, K. / Paxson, D. / Sing, T.F. (2005): A review of the practical uses of real property options, London, UK 2005

Patel, K. / Sing, T.F. (2000): Implied Volatility in the U.K. Commercial Property Market: Empirical Evidence Based on Transaction Data, in: Journal of Real Estate Finance and Economics 20(2000)2, S. 5-24

Pindyck, R.S. (1991): Irreversibility, Uncertainty, and Investment, in: Journal of Economic Literature 29(1991)3, S. 1110-1148

pom+Consulting AG (2009): FM Monitor 2009, 1. Auflage, Zürich 2009

Quigg, L. (1993): Empirical Testing of Real Option-Pricing Models, in: The Journal of Finance 48(1993)2, S. 621-640

Ritz, K. (2004): Heikle Immobilienbewertungen. Die „richtige“ Methode – eine Frage der Nutzungsart, in: Neue Zürcher Zeitung, Sonderbeilage Immobilien, 16. November 2004, S. B13

Schweizer Baudokumentation (2010): (www.baudokumentation.ch), Zürcher Index der Wohnbaupreise, BIN 01430.10, BIN 01430.30, Juli 2010

Titman, S. / Torous, W. (1989): Valuing commercial mortgages: An empirical investigation oft he contingent-claims approach to pricing risky debt, Journal of Finance 45(1989) S. 345-375, zit. in: Quigg 1993

Volkart, R. (2006): Corporate Finance. Grundlagen von Finanzierung und Investition, 2. Auflage, Zürich 2006

Williams, J. (1991): Real Estate Development as an Option, in: Journal of Real Estate Finance and Economics 4(1991), S. 1991-208

Williams, J. (1997): Redevelopment of Real Assets, in: Real Estate Economics 25(1997) S. 387-407

Wüest & Partner (2011): (www.wuestundpartner.com), Immo-Monitoring, Mietwohnungen, Zürich Kreis 6, Erhebungsstand 30.6.2011, aktualisiert am 20.7.2011, Nettomiete pro m$^2$ und Jahr für standardisierte 4-Zimmer-Mietwohnungen

**Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema

„Wert und optimaler Ausübungszeitpunkt einer Aufstockungsoption in der Stadt Zürich“

selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle (auch der verwendeten Sekundärliteratur) als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht.

Basel, den 12. August 2011

Karl Rieder