

Brenner, Steffen; Härdle, Wolfgang Karl; Schulz, Rainer

**Working Paper**

## Immobilienbewertung mit dem Realloptionsverfahren: Eine Umsetzungsstudie

SFB 373 Discussion Paper, No. 2003,19

**Provided in Cooperation with:**

Collaborative Research Center 373: Quantification and Simulation of Economic Processes,  
Humboldt University Berlin

*Suggested Citation:* Brenner, Steffen; Härdle, Wolfgang Karl; Schulz, Rainer (2003) :  
Immobilienbewertung mit dem Realloptionsverfahren: Eine Umsetzungsstudie, SFB 373 Discussion  
Paper, No. 2003,19, Humboldt University of Berlin, Interdisciplinary Research Project 373:  
Quantification and Simulation of Economic Processes, Berlin,  
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:11-10050088>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/22234>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen  
Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle  
Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich  
machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen  
(insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten,  
gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort  
genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal  
and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to  
exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the  
internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content  
Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise  
further usage rights as specified in the indicated licence.*

# Immobilienbewertung mit dem Realoptionsverfahren: Eine Umsetzungsstudie\*

Steffen Brenner

Managerial Economics and Decision Sciences

Kellogg School of Management

Wolfgang Härdle und Rainer Schulz

CASE - Center for Applied Statistics and Economics

Humboldt-Universität zu Berlin, SFB 373

Mai 2003

## **Zusammenfassung**

Die vorliegende Studie untersucht den Realoptionsansatz als Bewertungsverfahren für unentwickelte Immobilien. Im Gegensatz zu klassischen Bewertungsverfahren berücksichtigt das Realoptionsverfahren explizit die Unsicherheit zukünftiger Mieterträge und die daraus folgenden Opportunitätskosten einer sofortigen und irreversiblen Investition. Der empirische Teil der Studie basiert auf einem Datensatz von

---

\*Wir danken Hans Achim Grube, Henry Lucas und Robert Schwarz von der BEWAG für die Daten und hilfreiche Diskussionen, Rolf Scheffler von Aengevelt für die Bereitstellung der Mietdaten und Ralf Brüggemann und Olaf Ehrhardt für hilfreiche Anmerkungen. Für finanzielle Unterstützung bedanken wir uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, SFB 373 *Quantifikation und Simulation Ökonomischer Prozesse* und bei der Fritz-Thyssen-Stiftung.

zwölf Grundstücken, für die Sachverständigengutachten und Transaktionspreise vorliegen. Wir vergleichen die Güte der verschiedenen Bewertungsverfahren bezüglich ihrer Fähigkeit, Transaktionspreise vorherzusagen. Im Vergleich zum Residualwert scheint das Realoptionsverfahren vorteilhaft, da es in den Fällen eines negativen bzw. geringen Residualwertes deutlich höhere und plausiblere Werte liefert. Die Vorhersagegüte des Vergleichswertverfahrens ist allerdings noch besser. Das schlechtere Abschneiden des Realoptionsverfahrens kann damit erklärt werden, dass die Volatilität der zukünftigen Erträge unterschätzt wird. Darauf deuten hohe implizierte Volatilitäten hin. Zudem werden weitere Realoptionen auf Erweiterung und Umnutzung vernachlässigt, die den Wert eines Grundstücks erhöhen können. Diese Optionsprämien werden bei Bewertungen mit dem Vergleichswertverfahren implizit berücksichtigt.

## 1 Einleitung

Investoren und Eigentümer von Immobilien benötigen marktgerechte Bewertungen, um sich für Investitionen in unentwickelte Grundstücke entscheiden zu können. Bewertungsverfahren dienen dazu, den Wert von solchen Grundstücken zu ermitteln. Hierzu wird in der gutachterlichen Bewertungspraxis oftmals das Residualwertverfahren und das Vergleichswertverfahren angewendet. In der akademischen Literatur ist insbesondere das erste Verfahren in jüngster Zeit Kritik ausgesetzt, da es nicht berücksichtigt, dass Investitionen teilweise irreversibel sind und es sich lohnen kann, Investitionen zu verschieben (Hommel und Pritsch 1999a). Soweit Transaktionspreise vergleichbarer Grundstücke die Prämie des Wartens auf bessere Zeiten implizit berücksichtigen, fällt das Vergleichswertverfahren nicht unter obige Kritik. Es ist jedoch ein Nachteil dieses Verfahrens, dass es – im Gegensatz zum Residualwertverfahren – nicht direkt am zu bewertenden Grundstück ansetzt, sondern den Umweg über Transaktionspreise vergleichbare Objekte nimmt. Sind solche Transaktionen selten oder liegen weit zurück, so kann eine marktgerechte Bewertung schwierig sein.

Das Realoptionsverfahren (ROV) teilt mit dem Residualwertverfahren den direkten Bewertungsansatz. Während das Residualwertverfahren jedoch Inve-

stitutionsmöglichkeiten unter der Prämisse bewertet, dass Projekte unmittelbar umgesetzt werden, berücksichtigt das Realloptionsverfahren (ROV) zukünftige Handlungsmöglichkeiten explizit. Immobilieninvestitionen sind meist irreversibel und werden üblicherweise unter Unsicherheit getätigt. Unter diesen Umständen kann es sinnvoll sein, ein Projekt mit einem positiven Nettokapitalwert nicht sofort durchzuführen, sondern die Entwicklung der Marktverhältnisse abzuwarten. Aus der Möglichkeit, das Projekt verschieben zu können, leitet sich der Optionsgedanke des ROV ab. Insbesondere bei Liegenschaften mit hohem Entwicklungspotenzial und unsicheren Marktbedingungen erscheint das ROV als Bewertungsansatz vorteilhaft, da hier der Wert des Wartens hoch ist und zugleich für die Bewertung direkt am Objekt angesetzt wird.

Während es umfangreiche Literatur zur Theorie des ROV gibt (Pindyck 1991, Dixit und Pindyck 1994, Trigeorgis 1996), sind Studien zur Fragen der Implementierung noch selten (Hommel und Pritsch 1999b). Dies gilt gerade für den Bereich der Immobilienprojektentwicklung (Lucius 2000). Es existieren zwar Arbeiten, die den Realloptionsansatz als Erklärungsmodell für den Immobilienmarkt nutzen (Quigg 1993, Patel und Sing 2000, Ott und Yi 2001, Yamazaki 2001), aber Studien zur praktischen Umsetzbarkeit als Bewertungsverfahren stehen noch aus.

In dieser Arbeit überprüfen wir die praktische Anwendbarkeit des ROV anhand von Entwicklungsdaten eines Berliner Großunternehmens. Wir vergleichen die Bewertungsergebnisse nach dem ROV mit Bewertungen nach klassischen Verfahren. In Abschnitt 2 werden die klassischen Verfahren vorgestellt. Die Datenanforderungen für das ROV sind höher als bei klassischen Bewertungsverfahren, da Parameter, die die Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen messen, Eingang in das Modell finden. Wir diskutieren in Abschnitt 3 ausführlich, wann diese explizite Berücksichtigung der Unsicherheit einen Einfluß auf die Bewertungen hat. Wir führen weiterhin Sensitivitätsanalysen durch, um die Auswirkungen der für die Bewertung benötigten Daten auf das Bewertungsergebnis einzuschätzen. Schließlich vergleichen wir in Abschnitt 4 anhand von zwölf Objekten die Bewertungen des ROV mit Bewertungen nach klassischen Verfahren. Dabei schneidet das ROV besser als das Residualwertverfahren ab, allerdings schlechter als das Vergleichswertverfahren. Die homo-

gene implizierte Volatilität, die den MSE der ROV-Vorhersagen minimiert, offenbart, dass der aus Zeitreihen abgeleitete Schätzwert für die Volatilität der Erträge zu konservativ ist. Selbstverständlich ist es auch möglich, dass weitere Realoptionen bestehen, die den Wert der Grundstücke beeinflussen und die mit dem von uns angewendet ROV nur unzureichend berücksichtigt werden. Dies könnte die höhere implizierte Volatilität erklären. Abschnitt 5 gibt Schlussbemerkungen und diskutiert, inwieweit implizierte Volatilitäten direkt für Bewertungen genutzt werden können.

## 2 Klassische Bewertungsverfahren

Ziel der Wertermittlung ist der *Verkehrswert* der zu bewertenden Immobilie. Nach dem Baugesetzbuch ist der Verkehrswert der Preis, der im Zeitpunkt, auf den sich die Ermittlung bezieht, im gewöhnlichen Geschäftsverkehr ohne Berücksichtigung ungewöhnlicher oder persönlicher Verhältnisse zu erzielen wäre (§ 194 BauGB). Der Verkehrswert ist somit der erwartete Preis für ein Grundstück und der ermittelte Verkehrswert ist eine Einschätzung des zu erwartenden Preises im Falle eines Verkaufes.

Die klassischen Bewertungsverfahren, welche als Vorstufe für die Ermittlung des Verkehrswertes von unbebauten Grundstücken herangezogen werden, sind das *Vergleichswertverfahren* und das *Residualwertverfahren*, welches auf dem *Ertragswertverfahren* basiert (Gottschalk 1999). Gutachter orientieren sich bei der Wertermittlung oftmals an Techniken, wie sie in der Wertermittlungsverordnung (WertV) und den ergänzenden Wertermittlungs-Richtlinien (WertR 91) vorgeschrieben sind. Dies geschieht auf freiwilliger Basis, da die WertV für die meisten Immobilieninvestitionen nicht angewendet werden muß. Die Ermittlung des Verkehrswertes nach WertV verläuft grundsätzlich zweistufig. In der ersten Stufe wendet der Gutachter mindestens eines der kodifizierten Ermittlungsverfahren an. Durch Anpassungen des mit dem gewählten Verfahren erhaltenen Wertes an die allgemeine Marktlage (§ 7 WertV) ergibt sich schließlich der ermittelte Verkehrswert. Hierbei bestehen große Freiheiten bei der abschließenden Anpassung zum ermittelten Verkehrswert.

## 2.1 Vergleichswertverfahren

Beim Vergleichswertverfahren werden zeitlich nahe Verkäufe von Grundstücken in der Art des zu bewertenden Grundstückes herangezogen und deren Verkaufspreise für die Wertermittlung genutzt. Falls sich ein vergleichbares Grundstück in einigen Eigenschaften vom zu bewertenden Grundstück unterscheidet, wird der jeweilige Verkaufspreis durch Zu- und Abschläge angepasst. Im abschließenden Bewertungsschritt werden die verschiedenen angepassten Preise zu einem einheitlichen Wert gewichtet. So können etwa weiter zurückliegende Verkäufe untergewichtet und zeitliche nahe Verkäufe übergewichtet werden.

Eine einfache Technik des Vergleichswertverfahrens zur Ermittlung des Wertes eines unbebauten Grundstücks ist, die Fläche mit dem jeweiligen Bodenrichtwert zu multiplizieren. Bodenrichtwerte sind durchschnittliche, auf den Quadratmeter bezogene Lagewerte und werden von örtlichen Gutachterausschüssen für Grundstückswerte anhand beobachteter Grundstückstransaktionen für verschiedene Lagen ermittelt und jährlich veröffentlicht (§ 196 BauGB). Im Folgenden bezeichnet  $L^B(t)$  den ermittelten Verkehrswert eines unentwickelten Grundstücks für den Zeitpunkt  $t$  als Produkt aus Fläche mal Bodenrichtwert.

Bodenrichtwerte können auch der Ausgangspunkt für die Wertermittlung mit dem Vergleichswertverfahren nach WertV sein (§ 13 Abs. 2 WertV). Allerdings wird der Gutachter den Wert aus Grundstücksfläche mal Bodenrichtwert oftmals noch für die aktuelle Lage am Grundstücksmarkt anpassen, wie es § 7 Abs. 1 WertV vorsieht. Hierbei kann berücksichtigt werden, dass sich inzwischen – seit Beobachtung der vergleichbaren Transaktionen – die allgemeine Lage am Markt geändert hat. Meistens wird der Gutachter jedoch nicht auf Bodenrichtwerte zurückgreifen, sondern direkt an Transaktionspreisen vergleichbarer Grundstücke ansetzen (§ 13 Abs. 1 WertV). Auch hier sind selbstverständlich Anpassungen an die allgemeine Marktlage möglich. Im Folgenden bezeichnet  $L^G(t)$  den ermittelten Verkehrswert nach dem Vergleichswertverfahren nach WertV. Grundsätzlich ist es nicht ausgeschlossen, dass  $L^B(t)$  und  $L^G(t)$  identisch sind.

Dem Vergleichswertverfahren unterliegt das ökonomische Kalkül, dass kein

Investor mehr für ein Grundstück zu zahlen bereit ist, als von anderen Investoren in der Vergangenheit bezahlt wurde. Trotz dieser plausiblen Fundierung des Verfahrens sind einige Kritikpunkte offensichtlich: der konkrete Rechenweg ist nicht kodifiziert und unterschiedliche Gutachter werden bei identischen Ausgangsdaten über die Vergleichsgrundstücke zu unterschiedlichen Werten gelangen, da ihnen die Wahl der Anpassungsfaktoren grundsätzlich freisteht (obwohl 2.3.1 WertR 91 die Verwendung von Koeffizienten empfiehlt, die durch Gutachterausschüsse bereitgestellt werden). Weit wichtiger ist jedoch, dass Vergleichsdaten oftmals nicht ausreichend vorhanden sind. Zwar ist es grundsätzlich möglich, räumlich und zeitlich entfernte Vergleichsgrundstücke heranzuziehen, aber die Vergleichbarkeit nimmt dabei meist stark ab.

## 2.2 Residualwertverfahren

Beim Residualwertverfahren werden vom ermittelten Verkehrswert des entwickelten Objektes  $V(t)$  die Baukosten  $I$  abgezogen und dadurch der Wert des unbebauten Grundstücks ermittelt. Der Verkehrswert  $L^R(t)$  des unentwickelten Grundstückes ist damit

$$L^R(t) = V(t) - I .$$

Das ökonomische Kalkül des Verfahrens besteht darin, dass der Residualwert der maximale Preis ist, welchen ein Investor für das unentwickelte Grundstück zu zahlen bereit ist.

Eine einfache Technik zur Ermittlung des Ertragswertes besteht in der Kapitalisierung des aktuellen Reinertrages  $D(t)$  mit dem Inversen der langfristigen Kapitalisierungsrate  $\Theta$

$$V(t) = \frac{D(t)}{\Theta} . \tag{1}$$

Der Reinertrag ist die aktuelle Miete minus aller Bewirtschaftungskosten. Obige Formel läßt sich aus dem Gegenwartswert

$$\sum_{j=1}^{\infty} \frac{\mathcal{E}_t[D(t+j)]}{(1+R)^j} \tag{2}$$

des entwickelten Objektes ableiten, wenn zusätzlich zum konstanten Diskontierungsfaktor  $R$  angenommen wird, dass die erwarteten Reinerträge mit der konstanten Rate  $G < R$  wachsen. Unter diesen Annahmen erhält man (1) aus (2) mit

$$\Theta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R - G}{1 + G} .$$

Kapitalisierungsraten  $\Theta$  – sogenannte Liegenschaftszinsen – werden oftmals von Gutachterausschüssen für unterschiedliche Lagen und Objekte anhand von Transaktionsdaten berechnet und können für die Kapitalisierung der Reinerträge verwendet werden. Aber auch Maklerverbände veröffentlichen Kapitalisierungsfaktoren, die als durchschnittliche Verhältnisse von Reinertrag zu Preis beobachteter Transaktionen berechnet werden.

Das in der WertV kodifizierte Ertragswertverfahren ist komplizierter als die obige einfache Kapitalisierungsformel (1), da sowohl die Restnutzungsdauer des bestehenden Gebäudes als auch der aktuelle Bodenwert angesetzt werden muss. Bezeichnen wir mit  $T$  die Periode, in welcher eine bestehende Bebauung nicht mehr wirtschaftlich genutzt werden kann, so ist der Ertragswert bei einer Restnutzungsdauer von  $\tau = T - t$  Jahren nach § 16 WertV

$$E(t) = \frac{1}{\Theta} \left\{ 1 - \left( \frac{1}{1 + \Theta} \right)^\tau \right\} D(t) + \left( \frac{1}{1 + \Theta} \right)^\tau L(t) .$$

Hierbei ist  $L(t)$  der aktuelle Bodenwert, der nach dem Vergleichswertverfahren ermittelt werden muß. Insbesondere für noch zu entwickelnde Grundstücke ist die Restnutzungsdauer der – neuen – Bebauung hoch. Bei einem Liegenschaftszins von  $\Theta = 5\%$  und  $\tau = 60$  geht der aktuelle Bodenwert mit rund 5% in den Ertragswert ein und der mit  $\Theta$  abdiskontierte Reinertrag mit rund 95%. Für  $\tau = 80$  reduziert sich der Einfluß des Bodenwertes auf rund 2%. Für große Restnutzungsdauern ist damit (1) eine gute Annäherung an den Ertragswert nach WertV.

Unter der Annahme einer langen Restnutzungsdauer des neuen Gebäudes ist der Residualwert des Bodens gegeben als

$$\begin{aligned} L^R(t) &= V(t) - I \\ &= \frac{D(t)}{\Theta} - I . \end{aligned} \tag{3}$$

Definieren wir mit

$$r_a(t) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{D(t)}{I}$$

die statische Anfangsrendite (Brauer 1999), so läßt sich der Residualwert schreiben als

$$L^R(t) = I \left( \frac{r^a(t)}{\Theta} - 1 \right) . \quad (4)$$

Der Residualwert ist nicht-negativ, wenn für die statische Anfangsrendite  $r_a(t) \geq \Theta$  gilt.

### 3 Realloptionsverfahren

Nach dem Realloptionsmodell wird ein unentwickeltes Grundstück als Option auf das entwickelte Grundstück verstanden. Das unentwickelte Grundstück sollte deshalb auch als Option auf das entwickelte Grundstück bewertet werden. Der Wert eines unentwickelten Grundstückes besteht aus dem Gegenwartswert der zukünftigen Reinerträge plus der Optionsprämie für ein flexibles Timing der Investition. Das ROV kann somit als erweitertes Ertragswertverfahren betrachtet werden.

Warum sollte die zeitliche Flexibilität der Grundstücksentwicklung in die Bewertung des Grundstücks eingehen? Bei Bauprojekten handelt es sich um irreversible Investitionen. Die Profitabilität einer Investition in ein neues Immobilienprojekt wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Einige davon sind gut prognostizierbar wie beispielsweise die Baukosten. Andere jedoch unterliegen starken zeitlichen Schwankungen. Können z.B. für ein geplantes Gebäude nicht schon während der Planungs- und Entwicklungsphase Mieter gefunden werden, bergen unsichere Mieteinkünfte in der Zukunft das Risiko einer unprofitablen Investition. Falls die derzeitige Marktlage in dieser Hinsicht als nicht eindeutig gewinnträchtig eingestuft wird, könnte ein Verschieben der Investition zur Vermeidung von unprofitablen Projekten führen und den erwarteten Gewinn des Projektes, über den gesamten Zeithorizont betrachtet, erhöhen. Das ROV quantifiziert diese Flexibilität der Investition.

### 3.1 Modellannahmen

Um eine konkrete Bewertungsformel herzuleiten, nutzen wir den Modellrahmen, den auch Quigg (1993) und Patel und Sing (2000) verwenden. Die Reinerträge  $D(t)$  und damit der Wert des Gebäudes folgen einer einfachen Brownschen Bewegung mit

$$dD(t) = gD(t)dt + \sigma D(t)dW .$$

Hierbei ist  $dW$  das Inkrement eines Standard-Wiener-Prozesses,  $g$  ist die Wachstumsrate des Prozesses und  $\sigma$  ist die Volatilität. Es ist möglich, dass verschiedene Objektklassen – wie reine oder gemischt genutzte Geschäftsobjekte – unterschiedliche Wachstumsraten oder Volatilitäten aufweisen. In diesem Fall hängen  $g$  und  $\sigma$  von der zulässigen Bebauung des Grundstückes ab. Da es sich um ein Modell in kontinuierlicher Zeit handelt, werden alle Raten – dies sind  $\Theta$ ,  $R$  und  $G$  – als Kleinbuchstaben geschrieben, wobei folgender Zusammenhang gilt

$$X = \exp\{x\} - 1 .$$

Mit einer Taylor Approximation erster Ordnung erhalten wir  $X \approx x$ , so dass der Unterschied zwischen diskreter und kontinuierlicher Rate bei kleinen Raten vernachlässigt werden kann.

### 3.2 Gegenwartswert des entwickelten Projektes

Falls das Grundstück in der aktuellen Periode entwickelt wird, ist sein Gegenwartswert  $V(t)$  durch die abdiskontierten erwarteten Reinerträge gegeben als

$$\begin{aligned} V(t) &= \mathcal{E}_t \left[ \int_t^\infty D(s)e^{-rs} ds \right] \\ &= \int_t^\infty \mathcal{E}_t [D(s)e^{-rs}] ds \\ &= \frac{D(t)}{\theta} . \end{aligned} \tag{5}$$

Hierbei ist  $\mathcal{E}_t[\cdot]$  der bedingte Erwartungswertoperator,  $r$  der risikoadjustierte Diskontiersatz mit  $r > g$  und

$$\theta = r - g .$$

In der dritten Zeile von (5) wurde genutzt, dass  $D(t)$  einer geometrischen Brownschen Bewegung folgt (Dixit und Pindyck 1994, II 3.3). Der Wert des entwickelten Projektes  $V(t)$  ist somit durch die kapitalisierten gegenwärtigen Reinerträge gegeben.  $\theta$  entspricht dem Liegenschaftszins. Der risikoadjustierte Diskontierungssatz setzt sich aus dem sicheren Zinssatz und der Risikoprämie  $\lambda \geq 0$  zusammen. Hierbei ist  $i$  der sichere Zinssatz, der für kurzlaufende Finanztitel gezahlt wird. Damit ergibt sich ein explizierter Zusammenhang zwischen Liegenschaftszins und sicherem Zinssatz

$$\theta = i + \lambda - g . \tag{6}$$

### 3.3 Realloptionswert

Der Wert des Grundstückes hängt direkt von  $V(t)$  und damit von  $D(t)$  ab. Sobald man Eigentümer des Grundstückes ist, kann der optimale Investitionszeitpunkt abgewartet werden. Die Theorie der Realoptionsbewertung beruht auf der Annahme, dass ein risikoloses Portfolio konstruiert werden kann, welches aus einer Long-Position des betrachteten Projektes und einer Short-Position von Vermögensgegenständen besteht, deren Werte perfekt mit dem Projektwert korreliert sind. In unserer Anwendung muss daher davon ausgegangen werden, dass für jedes betrachtete Grundstück andere Titel existieren, deren Wertentwicklung perfekt korreliert sind und in welchen der Investor eine Short-Position aufbauen kann.

Die Bewertung des Grundstückes (bzw. der Option auf das Gebäude mit den entsprechenden Mieteinnahmen) ist ein Standardproblem, welches ausführlich in der Realoptionsliteratur besprochen wird (Dixit und Pindyck 1994, Pindyck 1991). Unter den üblichen Annahmen – Verkäufer und Käufer sind Preisnehmer und die Entwicklung des Grundstückes beeinflusst nicht die Marktpreise

für entwickelte Immobilien – ist der Grundstückswert

$$L^O(t) = \begin{cases} AD(t)^\beta & , \text{ wenn } D(t) < D^*, \\ \frac{D(t)}{\theta} - I & , \text{ wenn } D(t) \geq D^* \end{cases} \quad (7)$$

mit

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{\theta\beta} (D^*)^{(1-\beta)} \\ D^* &= \frac{\beta}{\beta-1} \theta I \\ \beta &= \frac{1}{2} - \frac{i-\theta}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{i-\theta}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2i}{\sigma^2}}. \end{aligned}$$

Der sichere Zinssatz  $i$  geht explizit die Formel für  $\beta$  ein. Allerdings erhält man mit (6) sofort, dass  $d\theta = di$ , so dass sich bestimmte Effekte aufheben. Aufgrund des letzten Terms unter der Wurzel besitzt  $i$  jedoch auch einen direkten Einfluß.

Der Grundstückswert  $L^O(t)$  nach dem ROV hängt vom gegenwärtigen Reinertrag ab. Falls der gegenwärtige Reinertrag unter dem Schwellwert  $D^*$  liegt, korrespondiert der Wert des Grundstücks mit dem Wert der Option der Entwicklung. Im anderen Fall ist es optimal, das Grundstück augenblicklich zu entwickeln und der Grundstückswert entspricht dem Wert des entwickelten Objektes abzüglich der Baukosten  $I$ . In diesem Fall entspricht der Optionswert exakt dem Residualwert.

Sollte in Periode  $t$  noch nicht entwickelt werden, da  $D(t) < D^*$ , so ist eine sofortige Entwicklung weniger wert als das Aufrechterhalten der Option, später zu entwickeln. Der Wert des Grundstücks ist damit durch den Wert der zukünftigen Entwicklungsoption gegeben und nicht durch den Wert einer sofortigen Entwicklung. Es folgt daraus, dass

$$L^O(t) - L^R(t) = \begin{cases} > 0 & , \text{ wenn } D(t) < D^*, \\ = 0 & , \text{ wenn } D(t) \geq D^* \end{cases} \quad (8)$$

gilt, siehe Anhang A.1. Die Differenz  $L^O(t) - L^R(t)$  ist die Optionsprämie. Der Residualwert unterschätzt den Wert des Grundstückes in all jenen Fällen, in welchen noch nicht entwickelt werden sollte.

### 3.4 Sensitivitätsanalyse

In diesem Abschnitt wird untersucht, wie empfindlich die Ergebnisse der einzelnen Bewertungsverfahren auf Änderungen der Bewertungsparameter reagieren. Nachdem die exakten Ableitungen auf die Bewertungsergebnisse vorgestellt wurden, werden die Effekte für ein Beispiel grafisch veranschaulicht.

Für den Residualwert  $D(t)/\theta - I$  erhalten wir

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L^R(t)}{\partial \ln \theta} &= - \left(1 - \frac{\theta}{r_a(t)}\right)^{-1} \\ \frac{\partial \ln L^R(t)}{\partial \ln D(t)} &= \left(1 - \frac{\theta}{r_a(t)}\right)^{-1} \\ \frac{\partial \ln L^R(t)}{\partial \ln I} &= - \left(1 - \frac{\theta}{r_a(t)}\right)^{-1}, \end{aligned} \tag{9}$$

wobei die Definition (4) der statischen Anfangsrendite genutzt wurde. Eine einprozentige Erhöhung des Liegenschaftszinsens bei  $r_a(t) > \theta$  bewirkt eine Reduktion des Residualwertes um mehr als 1%. Der Liegenschaftszins kann dabei zunehmen, weil

- der sichere Zinssatz  $i$  zunimmt
- die Risikoprämie  $\lambda$  zunimmt
- die Wachstumsrate  $g$  der Reinerträge abnimmt,

siehe Gleichung (6). Eine einprozentige Erhöhung des Reinertrages bewirkt eine mehr als einprozentige Erhöhung des Residualwertes und eine mehr als einprozentige Senkung bei einer Erhöhung der Investitionskosten. Falls  $D(t) > D^*$  gilt und entsprechend

$$r_a(t) \geq \frac{\beta}{\beta - 1} \theta,$$

dann gelten die obigen Ergebnisse (9) auch für  $L^O(t)$ .

Falls die sofortige Entwicklung des Grundstücks nicht optimal ist und somit

$D(t) < D^*$  gilt, erhalten wir

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \ln L^O(t)}{\partial \ln \theta} &= - \left\{ 1 - \ln \left( \frac{D(t)}{D^*} \right) \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \theta \right\} < -1 \\
\frac{\partial \ln L^O(t)}{\partial \ln D(t)} &= \beta > 1 \\
\frac{\partial \ln L^O(t)}{\partial \ln I} &= 1 - \beta < 0 \\
\frac{\partial \ln L^O(t)}{\partial \ln i} &= i \left\{ \ln \left( \frac{D(t)}{D^*} \right) \frac{1}{\sigma^2 b} - \frac{1}{\theta} \right\} < 0 \\
\frac{\partial \ln L^O(t)}{\partial \ln \sigma^2} &= \ln \left( \frac{D(t)}{D^*} \right) \frac{b}{\sigma^2} \{ \beta(i - \theta) - i \} > 0 .
\end{aligned} \tag{10}$$

Die Vorzeichen der einzelnen Ableitungen werden A.2 hergeleitet.

Ein höheres  $\theta$  bewirkt, dass die Investition später – bei höherem  $D^*$  – ausgeführt werden sollte. Hierbei gibt es zwei gegenläufige Effekte: einerseits steigen mit höherem  $\theta$  die Opportunitätskosten für das Halten der realen Option, schließlich verzichtet man währenddessen auf Mietzahlungen. Andererseits sinkt der aktuelle Wert des Investitionsprojektes, da nun stärker diskontiert wird (beziehungsweise die Reinerträge mit geringerer Rate wachsen). Während der erste Effekt den Wert des Wartens senkt, erhöht ihn der zweite stärkere Effekt (Dixit und Pindyck 1994, S. 193f). Wir erhalten

$$\frac{\partial \ln D^*}{\partial \ln \theta} = 1 - \frac{\theta}{(\beta - 1)b\sigma^2} > 0 . \tag{11}$$

Der Term wird im Anhang A.2 hergeleitet.

Da das ROV höhere Anforderungen an die Datenlage stellt, könnte man vermuten, dass es weniger verlässliche Ergebnisse liefert. Die Sensitivität des Verfahrens in bezug auf verschiedene Modellparameter ist für die Anwendung des Realoptionsansatzes als Bewertungsverfahren von vitalem Interesse. Oben wurde dieser Einfluss auf analytischem Wege untersucht. Die Wirkungen von Parameteränderungen auf das Bewertungsergebnis lassen sich jedoch auch sehr anschaulich grafisch darstellen. Alle Abbildungen nutzen die Angaben für Objekt 12 aus dem empirischen Teil der Studie, siehe Abschnitt 4.

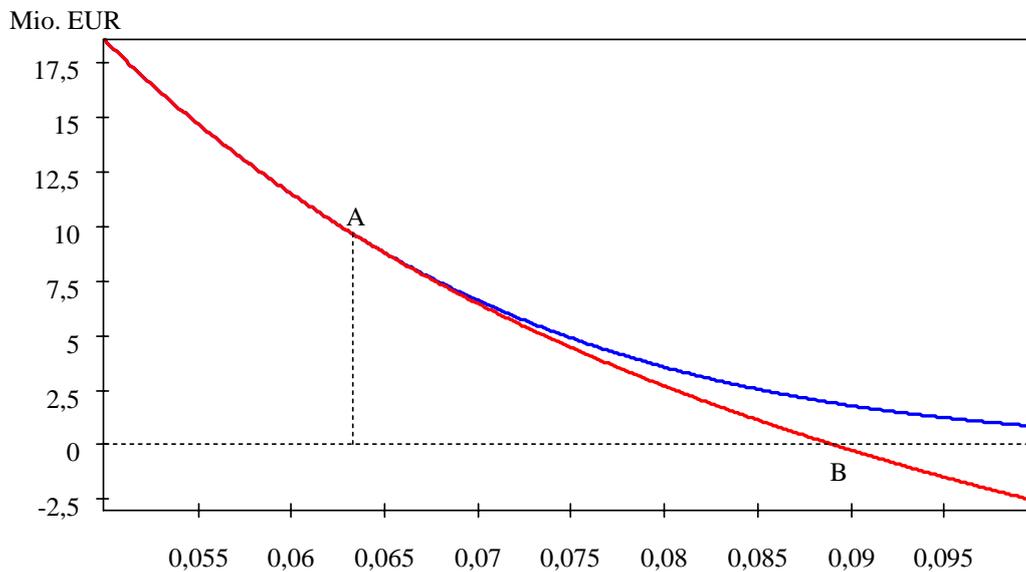


Abbildung 1. Realoptionswert  $L^O$  (obere Linie) und Residualwert  $L^R$  (untere Linie) für Objekt 12 als Funktion von  $\theta$ , gegeben  $\sigma = 0,165$  und  $i = 0,042$ . Links von Punkt A sind beide Werte gleich.

Der Einfluss des Liegenschaftszinses  $\theta$  ist in Abbildungen 1 skizziert. Der Liegenschaftszins hat erwartungsgemäß einen sehr starken Einfluss auf den Wert des unentwickelten Grundstückes, da der Verkehrswert der geplanten Bebauung stark auf diese Größe reagiert. Dies gilt auch für die Höhe des aktuellen Reinertrags, dessen Wirkung auf den Wert des Grundstückes in Abbildung und 2 gezeigt wird. Übrigens liegt der Schwellwert  $D^*$ , auf den Quadratmeter berechnet, bei 15,23 EUR. Abbildung 2 veranschaulicht, dass ab diesem Schwellwert der Residualwert mit dem Realoptionswert zusammenfällt. Darunter bewertet das Residualwertverfahren das Grundstück immer niedriger als das Realoptionsverfahren. Geringe Variationen in beiden Variablen führen damit insgesamt zu starken Wertänderungen. Allerdings ist diese hohe Sensitivität allen Ertragswertverfahren gemein.

Der Zusammenhang zwischen dem Grundstückswert und der Volatilität der Reinerträge ist im Abbildung 3 grafisch dargestellt. Wie schon analytisch her-

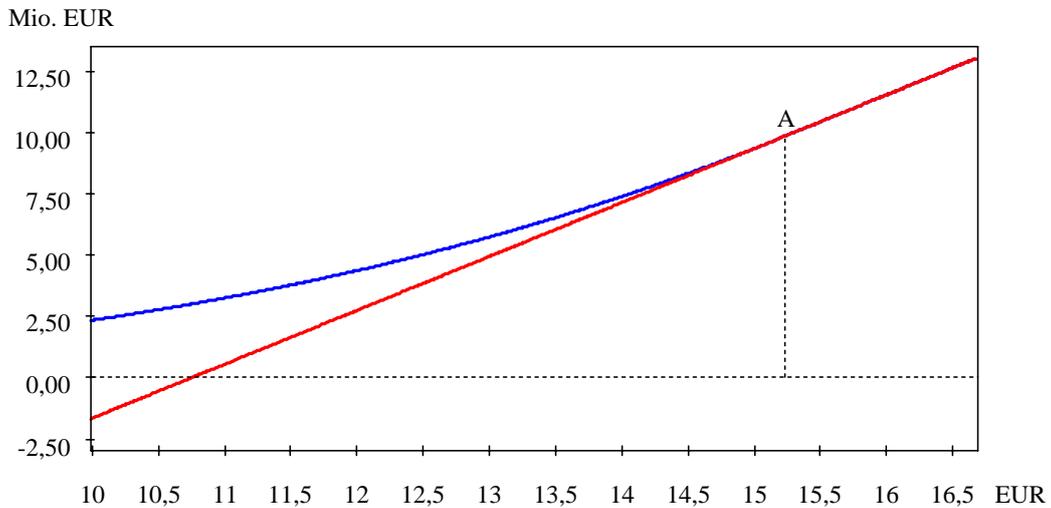


Abbildung 2. Realoptionswert  $L^O$  (obere Linie) und Residualwert  $L^R$  (untere Linie) für Objekt 12 als Funktion des Reinertrages in EUR pro  $m^2$ , gegeben  $\sigma = 0,165$ ,  $\theta = 0,063$  und  $i = 0,042$ . Rechts von Punkt A sind beide Werte gleich.

geleitet, zeigt sich ein positiver Einfluss der Volatilität auf den Grundstückswert in dem Bereich der aktuellen Reinerträge, die ein Verschieben der Investition implizieren. Der  $\sigma$  Wert, bis zu welchem eine Investition sofort unternommen werden sollte, liegt bei rund 0,17. Befindet sich  $\sigma$  darunter, ist der Grundstückswert unabhängig von der Volatilität, dies entspricht dem Bereich der horizontalen Linie in Abbildung 3. Je stärker die Reinerträge schwanken, desto besser können die negative Realisationen (niedrige zukünftige Erträge) von den positiven Realisation des zufälligen Reinertragsprozesses voneinander getrennt werden und desto höher ist das Gewinnpotenzial, falls sich die Erträge positiv entwickeln. In unserem Fall würde beispielsweise eine Verdopplung der Volatilität von 0,17 auf 0,34 zu einer Steigerung des Grundstückswertes um rund 35% führen.

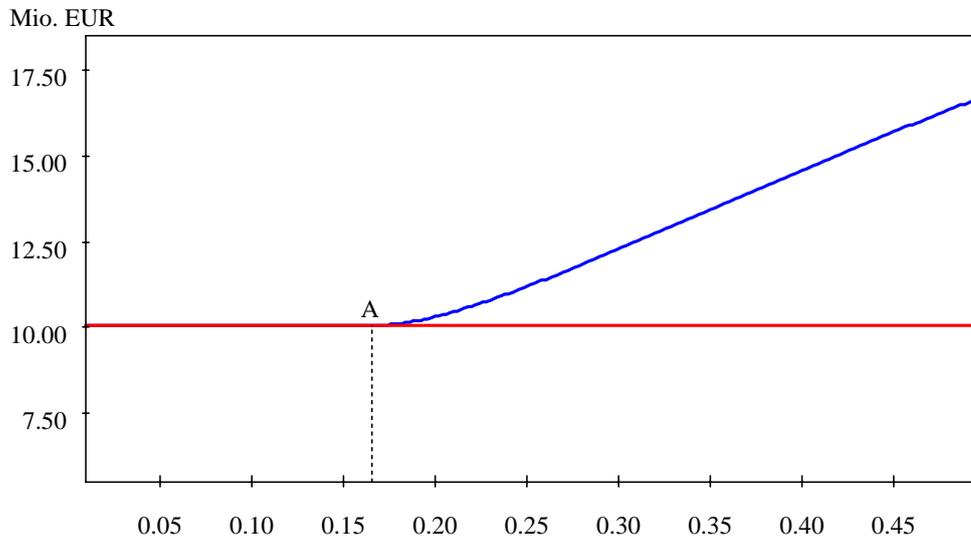


Abbildung 3. Realoptionswert  $L^O$  (obere Linie) und Residualwert  $L^R$  (untere Linie) für Objekt 12 in Abhängigkeit von der Volatilität  $\sigma$ , gegeben  $\theta = 0,063$  und  $i = 0,042$ . Links von Punkt A sind beide Werte gleich.

## 4 Empirische Ergebnisse

### 4.1 Datenanalyse

Der uns zur Verfügung gestellte Datensatz umfasst Informationen über zwölf Grundstücke in Berlin in unterschiedlichen Lagen und für unterschiedlich geplante Nutzungen. Die Grundstücke gehörten zum nicht-betriebsnotwendigen Anlagevermögen der BEWAG. Es handelt sich sowohl um Wohn- als auch um Gewerbeimmobilien. Neben den Charakteristika der Immobilien liegen auch Wertgutachten von öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen vor.

Tabelle 1 präsentiert Kerndaten der einzelnen Immobilien. Es finden sich zum Bewertungsstichtag (Dezember 1997) Angaben über die Grundstücksgröße, den Bodenrichtwert, den erwarteten Reinertrag und die Investitionskosten bei einer Bebauung bzw. Sanierung. Überwiegend besteht das betrachtete Portfolio aus kleineren Grundstücken. Nur vier Immobilien besitzen eine Größe von mehr als 4000 m<sup>2</sup>. Wie der Bodenwert induziert, sind die größeren Grundstücke gleichzeitig die Wertvolleren. Die Bodenwerte bilden mit Beträgen zwischen etwa 128 EUR pro m<sup>2</sup> und 6136 EUR pro m<sup>2</sup> fast das gesamte

Spektrum des Berliner Grundstücksmarktes ab. Die Standorte rangieren von City-Spitzenlage bis einfache Stadtrandlage. Die in der Tabelle angegebenen Reinerträge, d.h. die Mieteinnahmen abzüglich Bewirtschaftungskosten, sowie die Investitionen beruhen auf Gutachterschätzungen und spiegeln die unterschiedlichen Qualitäten der Grundstücke wider. Es ist zu berücksichtigen, dass es sich teilweise um bebaute Grundstücke handelt. Allerdings ist in diesen Fällen die Bausubstanz in derart schlechtem Zustand, dass eine Vermietung nur nach erheblichen Investitionen möglich ist.

## 4.2 Grundstückswert nach ROV

Um den Wert nach dem ROV zu bestimmen, d.h. um (7) zu berechnen, sind zunächst einige Parameter festzulegen. Die Volatilität der Reinertragswachstumsrate für Gewerbeimmobilien schätzen wir auf Basis der jährlicher Durchschnittswerte von Mietwachstumsraten zwischen 1991 und 2001, welche uns für unterschiedliche Lagen in Berlin von Aengevelt zur Verfügung gestellt wurden. Tabelle 2 zeigt die geschätzten Wachstumsraten und deren Volatilität. Die entsprechenden Werte für Wohnimmobilien basieren auf Angaben des RDM Mietspiegels für fertiggestellte Objekte im Berichtsjahr von 1980 bis 2000. Da wir Mietwachstumsraten für die Schätzung der Volatilitäten verwenden, nehmen wir implizit an, dass Reinerträge proportional zu den Mieten sind. Die geschätzten Volatilitäten  $\hat{\sigma}$  für Büromieten liegen zwischen 0,103 und 0,166, wobei die Spitzenmieten in diesem Zeitraum die volatilste Bewegung vollzogen. Wohnmieten liegen mit  $\hat{\sigma} = 0,143$  ebenfalls in dem Bereich. Die durchschnittliche Mietwachstumsrate für Wohnimmobilien im Zeitraum 1992 bis 2000 beträgt übrigens -0,080 und ist mit den Raten für Büromieten vergleichbar.

Für Bewertungen nach dem ROV setzen wir homogen die Volatilität von  $\hat{\sigma} = 0,165$  an, die sich für Objekte in City Mitte ergibt. In dieses Gebiet fällt neben der Friedrichstraße und Unter den Linden auch der Potsdamer Platz. Die Wahl einer homogenen Volatilität vereinfacht die Bewertung. Zudem liegen viele der Objekte im Citybereich. Als sicheren Zinssatz  $i$  nutzen wir den Zins einer hypothetischen Null-Kupon-Anleihe mit Restlaufzeit von 2 Jahren, wie sie von der Deutschen Bundesbank berechnet wird (WZ9810), siehe Deutsche

Tabelle 1. Angaben zu den Objekten: Grundstücksgröße, Nutzfläche, Bodenwert, Reinertrag und projektierte Investitionskosten

Objekt	Fläche in m <sup>2</sup>	Nutzfläche in m <sup>2</sup>	Bodenwert EUR pro m <sup>2</sup>	Reinertrag pro Jahr in EUR	Investitionen in EUR
1	1.135	1.090	161	110.347	1.740.949
2	1.817	832	128	114.801	1.380.488
3	4.361	1.679	143	164.785	2.786.541
4	634	591	562	52.565	604.194
5	6.551	3.195	767	362.654	5.445.259
6	1.277	560	511	63.564	715.809
7	874	651	281	97.858	475.501
8	4.062	4.200	665	682.881	3.579.043
9	15.702	46.657	2.556	9.160.458	58.788.008
10	602	1.495	6.136	366.952	1.965.815
11	2.027	1.860	665	174.678	2.224.120
12	2.972	11.459	3.579	2.109.202	23.677.667

*Erläuterung:* Alle Angaben nach Gutachten, Stichtag Dezember 1997. Bodenwerte wurden nach dem jeweils aktuellen Bodenrichtwertatlas ermittelt und gegebenenfalls angepasst. Reinerträge und Investitionskosten sind Einschätzung für eine Bebauung. Für jedes Objekt wurden die Nutzflächen nach Qualitäten unterteilt und davon abhängige Reinerträge angesetzt. Wertangaben in Deutsche Mark wurden durch Division mit 1,95583 in EUR konvertiert.

Bundesbank (1997). Die durchschnittliche Zeit der Entwicklung wird für die meisten Objekte mit rund zwei Jahren veranschlagt. Der hypothetische Zins betrug im Dezember 1997, dem Stichtag der Gutachten, 4,2%. Um die Vergleichbarkeit mit den Gutachterbewertungen zu bewahren, entnehmen wir die Liegenschaftszinsen  $\theta$  den jeweiligen Gutachten.

Zunächst wird der Schwellwert  $D^*$  berechnet. Übersteigt der aktuelle Reinertrag diesen Wert, so sollte nach ROV das Grundstück sofort entwickelt wer-

Tabelle 2. Durchschnittliche Mietwachstumsraten und Standardabweichungen für Büro- und Wohnimmobilien in Berlin

	Büro					Wohnen
	Spitzen	City Mitte	City West	Cityrand	Rest	
$\hat{g}$	-0,045	-0,029	-0,066	-0,060	-0,060	0,002
$\hat{\sigma}$	0,166	0,165	0,147	0,103	0,107	0,143

*Erläuterung:* Wachstumsraten und Standardabweichungen für Büroimmobilien wurden mit jährlichen mittleren Mieten von 1992 bis 2001 nach Aengelvelt berechnet. Spitzenmieten sind jeweils die 3 - 5 % des oberen Flächenumsatzes, ab 1998 Wert für das 97,5 Perzentil. Angaben für Wohnen wurden mit dem RDM Mietspiegel für Objekte mit Fertigstellung im Berichtsjahr von 1980 bis 2000 berechnet.

den. Das Verhältnis von aktuellem Reinertrag und dem Schwellwert ist in der zweiten Spalte von Tabelle 3 aufgeführt. Liegt der Wert oberhalb von 1, so spricht dies also für eine sofortige Investition. Anderenfalls sollte nach ROV abgewartet werden. Das ROV legt bei sechs der untersuchten Grundstücke nahe, nicht sofort zu entwickeln. Für die restlichen Grundstücke ergibt sich eine Kombination aus erwarteten Erträgen und Investitionen, in welcher ein Abwarten relativ gesehen geringere Vorteile verschafft. Die dritte Spalte der Tabelle 3 gibt den Wert des Grundstückes nach dem Realoptionsansatz an. Der Optionswert entspricht dem Residualwert in Spalte 4, wenn  $D(t)/D^* > 1$ . In diesem Fall ist die Optionsprämie für das Warten null. Wie Tabelle 3 zeigt, ist der Residualwert für zwei Objekte negativ, d.h. eine sofortige Investition ist hier auch ohne Berücksichtigung der zeitlichen Opportunitätskosten nicht profitabel. In diesen Fällen zeichnet sich der Optionsansatz dadurch aus, dass er keinen (unzulässigen) negativen Wert liefert, sondern durch eine explizite Berücksichtigung der zeitlichen Flexibilität immer positive Werte produziert. Abgesehen von diesen Fällen weicht der Options- vom Residualwert bei den Objekten 2, 4, 5 und 12 ab.

Die relativen Abweichungen des Optionswertes vom Residual-, Boden- und Verkehrswert sind in Tabelle 4 aufgelistet. Bezogen auf die Verkehrswerte

Tabelle 3. Bewertung der Grundstücke nach ROV und Vergleich mit Verkehrswerten nach Vergleichs- und Residualwertverfahren

Objekt	$D(t)/D^*$	$L^O(t)$ EUR	$L^R(t)$ EUR	$L^B(t)$ EUR	$L^G(t)$ EUR
1	0,63	74.013	-306.437	182.735	182.800
2	0,97	572.834	571.113	232.576	222.028
3	0,59	88.004	-644.334	623.623	230.081
4	0,95	187.173	184.277	356.308	485.679
5	0,75	859.027	357.205	5.024.617	3.042.698
6	1,04	364.770	364.770	652.547	630.167
7	2,33	1.090.227	1.090.227	245.594	511.292
8	1,82	96.938.532	96.938.532	40.134.312	41.925.934
9	2,28	4.822.804	4.822.804	3.693.872	3.693.573
10	1,01	10.069.565	10.069.565	10.636.788	2.567.452
11	2,08	6.664.121	6.664.121	2.701.230	2.570.474
12	0,89	615.697	570.728	1.347.955	945.890

*Erläuterung:*  $L^B(t)$  entspricht Bodenrichtwert mal Grundstücksfläche,  $L^G(t)$  sind gutachterliche Verkehrswerte. Für die Berechnung der Optionswerte wurde  $\sigma = 0,165$ ,  $i = 0,042$  und Liegenschaftszinssätze nach Gutachten angesetzt.

$L^B(t)$  und  $L^G(t)$  zeigen sich teilweise starke Unterschiede zu den Optionswerten  $L^O(t)$ . Auffällig ist, dass eine relativ niedrige Bewertung der Grundstücke durch das ROV eher in Fällen auftritt, für die eine sofortige Investition abgelehnt wird.

### 4.3 Vergleich Bewertungen und Preise

Wie verhalten sich die Bewertungen zu den tatsächlich beobachteten Preisen? Drei Objekte wurden in Paketen mit weiteren Grundstücken verkauft, wobei einige Grundstücke auf Grund fehlender Angaben nicht nach dem ROV

Tabelle 4. Bewertung der Grundstücke nach ROV und Vergleich mit Bewertungen nach Vergleichs- und Residualwertverfahren

Objekt	$L^O(t)/L^R(t)$	$L^O(t)/L^B(t)$	$L^O(t)/L^G(t)$
1	×	0,41	0,40
2	1,00	2,46	2,58
3	×	0,14	0,38
4	1,02	0,53	0,39
5	2,40	0,17	0,28
6	1,00	0,56	0,58
7	1,00	4,44	2,13
8	1,00	2,42	2,31
9	1,00	1,31	1,31
10	1,00	0,95	3,92
11	1,00	2,47	2,59
12	1,08	0,46	0,65

*Erläuterung:* Zu den Ausgangsdaten siehe Tabelle 3. Für negative Residualwerte werden keine Verhältnisse angegeben.

bewertet werden konnten. Diese Objekte sind deshalb auch nicht Teil des verwendeten Datensatzes. Objekt 10 wurde gemeinsam mit einem angrenzenden Grundstück verkauft. Der Preis wurde um den gutachterlichen Verkehrswert für dieses angrenzende Grundstück gemindert. Objekte 11 und 12 wurden mit einem dritten Grundstück verkauft, auch hier wurde der Preis um den gutachterlichen Verkehrswert des Grundstücks gemindert und die Bewertungen für Objekte 11 und 12 zu Objekt 11 in Tabelle 5 zusammengefasst. In dieser Tabelle sind Verhältnisse

$$Q^j(t) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P(t)}{L^j(t)} \quad \text{mit } j \in \{O, R, B, G\}$$

für die einzelnen Objekte angegeben. Da die Transaktionen allesamt nach dem Bewertungsstichtag stattfanden, wurden die Preise jeweils auf den Dezember

1997 diskontiert. Hierfür wurden die jeweiligen Liegenschaftszinssätze aus den Gutachten verwendet.

Ein Blick auf Tabelle 5 zeigt, dass das ROV durchschnittlich die schlechtesten Bewertungen aufweist. Im Mittel unterschätzt es die zu erzielenden Preise um etwa 42%. Jedoch besitzt das ROV eine relativ geringe Standardabweichung. Schätzt man den mittleren quadratischen Fehler

$$\text{MSE}(Q^j) = \mathcal{V}[Q^j] + (\mathcal{E}[Q^j] - 1)^2$$

mit  $j \in \{O, R, B, G\}$ , so schneidet das ROV besser als das Residualwertverfahren ab. Dabei bezeichnet  $\mathcal{V}[Q]$  die Varianz der Zufallsvariablen  $Q$ . Der geschätzte MSE für die einzelnen Verfahren ist in der letzten Zeile von Tabelle 5 angegeben.

Die Volatilität des Mietprozesses ist die einzige Variable, die nicht durch die Gutachter vorgegeben wurde. Zugleich hat die Sensitivitätsanalyse gezeigt, dass es sich hier um die Schlüsselgröße des ROV handelt. Es wird deshalb durch Wahl der Volatilität  $\sigma$  der MSE minimiert. Es zeigt sich, dass ein höheres  $\sigma$  den MSE verringert. An Abbildung 3 macht man sich leicht klar, dass es eine eindeutige Volatilität gibt, die den MSE minimiert: für Objekte unterhalb von  $A$  bleibt die Bewertung mit ansteigenden  $\sigma$  solange unverändert, bis der Punkt  $A$  überschritten wird. Bei unseren Objekten mit im Durchschnitt zu geringen Bewertungen führt dies anfangs zu einer Verbesserung. Sobald für immer mehr Objekte eine sofortige Entwicklung nicht mehr lohnend ist, steigen alle Bewertungen mit der Volatilität an.

Der  $\sigma$ -Wert, welcher den MSE minimiert, liegt mit 0,478 wesentlich über unserem Schätzwert. Legt man diesen Wert zu Grunde, könnte man die Güte der Schätzung mit  $\widehat{MSE} = 0,261$  stark erhöhen und das Risiko  $\widehat{\sigma}_Q = 0,444$  erheblich senken. Damit wäre der Optionsansatz auch den Gutachterverfahren bezüglich Treffsicherheit und Schätzunsicherheit überlegen. Man kann die Volatilität, die den MSE minimiert, als durch die Marktpreise impliziertes Risiko der Investition interpretieren, gegeben identische Volatilitäten für alle Objekte. Die implizierte Volatilität kann berechnet werden, da das ROV das Risiko im Gegensatz zu anderen Verfahren modelliert. Anzumerken ist, dass für  $\sigma = 0,478$  fast alle Grundstücke in den Bereich fallen würden, für den nach

Tabelle 5. Preise für die Grundstücke im Verhältnis zu Bewertungen nach ROV und Verkehrswerten nach Vergleichs- und Residualwertverfahren.

Objekt	$Q^O(t)$	$Q^R(t)$	$Q^B(t)$	$Q^G(t)$
1	2,03	×	0,82	0,82
2	0,53	0,53	1,30	1,36
3	2,00	×	0,28	0,76
4	2,27	2,30	1,19	0,87
5	4,15	9,98	0,71	1,17
6	1,61	1,61	0,90	0,93
7	0,56	0,56	2,47	1,19
8	0,38	0,38	0,92	0,88
9	1,36	1,36	1,78	1,78
10	0,97	0,97	0,92	3,82
11	0,81	0,82	1,46	1,69
$\overline{Q^j}$	1,52	2,06	1,16	1,39
$\widehat{\sigma}_{Q^j}$	1,10	3,03	0,59	0,88
$\widehat{\text{MSE}}(Q^j)$	1,47	10,31	0,37	0,92

*Erläuterung:* Zu den Ausgangsdaten siehe Tabelle 3. Objekte 11 und 12 wurden aufgrund eines Paketverkaufs zu Objekt 11 zusammengefaßt.  $\overline{Q}$  geben Spaltendurchschnitte,  $\widehat{\sigma}_Q$  die jeweilige Standardabweichung und  $\widehat{\text{MSE}}$  den mittleren quadratischen Fehler. Negative Residualwerte wurden für die Berechnung ausgeschlossen.

ROV ein Verschieben der Investition ratsam ist.

In einem weiteren Schritt haben wir objektspezifische implizierte Volatilitäten  $\sigma_{n,implied}$  berechnet. Dabei haben wir für die beobachteten Transaktionspreise  $P(t)$  der individuellen Objekte die Volatilität gesucht, für die

$$P(t) = A(\sigma_{implied})D(t)^{\beta(\sigma_{implied})} \quad (12)$$

erfüllt ist, siehe (7), wobei die Abhängigkeit von der implizierten Volatilität kenntlich gemacht ist. Tabelle 6 zeigt die ermittelten Werte. Es sind nur je-

ne Objekte aufgeführt, deren Verkaufspreise über dem jeweiligen Residualwert liegen, da nur sie eine positive Optionsprämie aufweisen. Es sei daran erinnert, dass der ROV im Vergleich zum Residualwertverfahren immer grössere bzw. gleiche Werte liefert. Auffällig ist, dass die  $\sigma_{n,implied}$  Werte innerhalb von Klassen recht homogen sind, wobei Objekte 1 und 3 sowie Objekte 4, 5 und 6 eigene Klassen bilden könnten. Die Diskrepanz kann möglicherweise durch die Lage der Objekte erklärt werden: Die Objekte der ersten Klasse befinden sich im Ostteil der Stadt, während sich die Objekte der zweiten Klasse im Westteil befinden. Der Durchschnitt der  $\sigma_{n,implied}$  Werte liegt in etwa bei dem der Volatilität unter Homogenität, wenn der Ausreißer 9 nicht berücksichtigt wird.

Offensichtlich ist die Volatilität eine kritische Eingangsgröße. Dass das ROV bei einer höheren Volatilität deutlich besser abschneidet, legt die Vermutung nahe, dass wir bei der Volatilitätsschätzung nicht das gesamte vorhandene Risiko der Investition berücksichtigt haben. Hier könnte beispielsweise das Risiko eine Rolle spielen, dass die geplanten Baukosten von den tatsächlichen Baukosten abweichen. Möglicherweise muss auch mehr Augenmerk darauf gerichtet werden, wie spezifisch bzw. wie auf eine bestimmte Nutzung beschränkt die Immobilie ist. Ferner können weitere Optionen den Wert der Immobilie beeinflussen, zum Beispiel die Option der Umwidmung, welche in unserem einfachen Modell ignoriert wurden (Leung und Hui 2002).

Eine letzte Bemerkung gilt dem ROV als Entscheidungshilfe für den Zeitpunkt der Investition. In der traditionellen Sichtweise sollte ein Projekt bei positivem Nettokapitalwert der Investition durchgeführt werden. Ist die Investition irreversibel und sind Erträge unsicher, kann jedoch auch bei positiven Nettokapitalwert eine Verzögerung lohnend sein. Für die Objekte 1 und 3 legen sowohl das Residualwert- als auch das Realoptionsverfahren ein Abwarten nahe (siehe Tabelle 3). Tatsächlich werden diese Grundstücke bislang nur als einfache Lagerplätze genutzt. Objekte 5 und 12 weisen unter Vernachlässigung der Optionsprämie einen positiven Nettokapitalwert auf. Der ROV rät jedoch zum Abwarten. Tatsächlich wurde Objekt 12 bislang nicht entwickelt. In Objekt 5 wurde investiert, der Projektträger ist jedoch auf Grund der Unrentabilität des Objektes in Insolvenz. Für die restlichen Objekte wurden Investitionen

Tabelle 6. Implizierte Volatilitäten für individuelle Objekte

Objekt	$\sigma_{n,implied}$
1	0,226
3	0,215
4	0,620
5	0,796
6	0,538
9	4,002
Durchschnitt	1,066

*Erläuterung:* Berechnungen basieren auf (12).

getätigt. Das ROV steht damit in Widerspruch zu den Entscheidungen der Projektentwickler der Objekte 2 und 4.

## 5 Schlussbemerkungen

Ziel dieser Studie ist es, das Realloptionsverfahren auf seine Praxistauglichkeit hin zu untersuchen und einen Vergleich mit traditionellen Bewertungsverfahren durchzuführen. Die Analyse basiert auf einem Datensatz von zwölf Berliner Grundstücken, welche erst nach erheblichen Investitionen zu Reinerträgen führen. Für die Grundstücke liegen Gutachten von Sachverständigen nach klassischen Verfahren und Verkaufspreise vor, die einen Vergleich der Bewertungsverfahren in Hinsicht auf deren Vorhersagegüte des erzielbaren Preises ermöglichen.

Das ROV hebt sich vom Residualwertverfahren ab, indem es zukünftige Unsicherheit der Reinerträge explizit berücksichtigt und die Opportunitätskosten bewertet, die eine sofortige Investition nach sich ziehen. Das ROV stellt dadurch allerdings auch höhere Anforderungen an die Datenlage. Mit dem Residualwertverfahren teilt es die Eigenschaft, dass sich Änderungen von Ein-

flussvariablen wie dem Mietertrag oder dem Liegenschaftszins stark auf die Bewertung niederschlagen können. Es besitzt jedoch dann einen Vorteil, wenn das Residualwertverfahren zu einem (implausiblen) negativen oder geringen Grundstückswert gelangt, da insbesondere in diesen Fällen der Optionsgedanke zur Geltung gelangt. Der Residualwert und der Optionswert fallen zusammen, wenn ein Verschieben der Investition in das Immobilienprojekt nicht lohnt. Anhand unserer empirischen Untersuchung zeigt sich, dass die Güte des ROV höher ist als diejenige des Residualwertverfahrens.

Im Wettbewerb mit den Vergleichswertverfahren ist das ROV jedoch unterlegen. Dies kann auf eine ungenügende Berücksichtigung des Risikos der Investition zurückzuführen sein. Allerdings müsste sich die (homogene) Volatilität der Reinerträge im Vergleich zur ursprünglichen Schätzung verdreifachen, um den mittleren quadratischen Fehler der Vorhersage zu minimieren. Für diese Volatilität schlägt das ROV jedoch alle anderen Verfahren deutlich. Geht man von objektspezifischen Volatilitäten aus, verbessert sich die Vorhersagekraft des ROV weiter. Für diesen Fall finden wir eine recht hohe Inhomogenität der Volatilität.

Priorität für weitere Forschung sollte der Frage zukommen, inwiefern die Volatilität durch unser Verfahren unterschätzt wurde. Beispielsweise kann die Ursache dafür in der Glättung der Reihen jährlicher Durchschnitte der Mieterträge liegen oder in der Betrachtung zu kurzer Zeitreihen, zumal in den beobachteten 10 Jahren viele Sonderbedingungen am Berliner Markt aufgrund der Wiedervereinigung herrschten. Weiterhin kann die systematische Unterschätzung des ROV durch eine Vernachlässigung von weiteren Optionen (Erweiterung, Umnutzung etc.) erklärt werden. Die Werte all dieser zusätzlich vorhandenen Optionen sind möglicherweise in den Transaktionspreisen vorhanden. Dies würde erklären, warum Vergleichswerte insgesamt gute Vorhersagen liefern. Der Nachteil des Vergleichswertverfahren, welches darin besteht, dass es auf ausreichend vergleichbare Transaktionen angewiesen ist, scheint für die uns zur Verfügung stehenden Objekte kein gravierendes Problem gewesen zu sein.

Aus ökonomischer Sicht ist die genauere Untersuchung des ROV für die Immobilienbewertung von grosser Bedeutung. Im Gegensatz zu den Vergleichswertverfahren liefert das ROV eine direkte wirtschaftliche Interpretation des

Grundstückswertes, im Gegensatz zu einfacheren Residualwertverfahren beschreibt es die Umstände bei Immobilieninvestitionen besser. Schwierigkeiten in der Anwendung treten auf, wenn die Volatilität der Erträge abgeschätzt werden soll und wenn weitere Optionen zu berücksichtigen sind. Einfacher ist es deshalb, das von uns vorgestellte ROV zu nutzen und dabei auf implizierte Volatilitäten aus beobachteten Transaktionen zurückzugreifen. Hier ist zu hoffen, dass in Zukunft ausreichend Daten verfügbar sein werden, die die Bereitstellung dieser Größen erlauben.

## A Anhang

### A.1 Positive Optionsprämie

Es wird (8) hergeleitet. Für  $D(t) \geq D^*$  folgt aus (3) und (7) sofort, dass  $L^O(t) - L^R(t) = 0$  gilt. Für  $D(t) < D^*$  muß

$$\frac{1}{\theta\beta}(D^*)^{1-\beta}D(t)^\beta > \frac{D(t)}{\theta} - I$$

gezeigt werden. Dies ist äquivalent zu

$$0 > 1 - \beta(1 - d) - d^\beta \tag{13}$$

mit  $d \stackrel{\text{def}}{=} D(t)/D^*$  und  $d \in [0, 1)$ , wobei  $\beta\theta I = (\beta - 1)D^*$  genutzt wurde. Die rechte Seite von (13) ist streng monoton ansteigend in  $d$ . Für  $d = 0$  erhalten wir sofort  $1 - \beta$ , was mit  $\beta > 1$  negativ ist. An der Obergrenze  $d = 1$  ist die rechte Seite null und die Ungleichung für die zulässigen Werte damit immer erfüllt.

### A.2 Sensitivitätsanalyse

Logarithmieren von  $L^O(t)$  und  $D^*$  für  $D(t) < D^*$  ergibt

$$\begin{aligned} \ln L^O &= (1 - \beta) \ln D^* + \beta \ln D - \ln \beta - \ln \theta \\ \ln D^* &= \ln \beta - \ln(\beta - 1) + \ln \theta + \ln I . \end{aligned}$$

Die Elastizitäten für  $D$  und  $I$  sind damit leicht bestimmt. Weiterhin erhält man

$$\frac{\partial \ln L^O}{\partial \beta} = \ln \left( \frac{D}{D^*} \right) < 0 \tag{14}$$

für  $D < D^*$ . Für  $\theta$  erhalten wir damit

$$\frac{\partial \ln L^O}{\partial \ln \theta} = \frac{\partial \ln L^O}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \theta - 1. \quad (15)$$

Um die Ableitungen von  $\beta$  zu bestimmen, definieren wir

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2} - \frac{i - \theta}{\sigma^2} \quad \text{und} \quad b \stackrel{\text{def}}{=} \left( a^2 + \frac{2i}{\sigma^2} \right)^{\frac{1}{2}} > 0$$

mit  $\beta = a + b$ . Wir erhalten

$$\frac{\partial \beta}{\partial \theta} = \frac{\beta}{\sigma^2 b} > 0.$$

Da  $\theta > 0$  ist, ist mit (14) der erste Term in (15) negativ und der gesamte Ausdruck kleiner als  $-1$ . Für die Ableitung von  $\beta$  nach  $i$  erhalten wir mit  $d\theta = di$  den Ausdruck  $1/(\sigma^2 b)$  und mit

$$\frac{\partial \ln L^O}{\partial \ln i} = \frac{\partial \ln L^O}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial i} i - \frac{i}{\theta}$$

den Ausdruck in (10).

Schließlich erhalten wir

$$\frac{\partial \beta}{\partial \sigma^2} = \frac{b}{\sigma^4} \{ \beta(i - \theta) - i \} < 0. \quad (16)$$

Das Vorzeichen hängt lediglich vom Term in der geschweiften Klammer ab. Um dieses Vorzeichen zu bestimmen, benötigen wir einen Zwischenschritt. Wir zeigen zuerst, dass

$$\frac{\beta}{\beta - 1} \theta = i + \frac{\sigma^2}{2} \beta \quad (17)$$

gilt. Obiger Ausdruck läßt sich umformen zu  $\beta^2 = b^2 + 2(a + b)a - a^2$ , woraus sofort  $\beta = a + b$  folgt. Aus (17) folgt für eine positive Volatilität  $\sigma^2$ , dass

$$\beta(i - \theta) - i < 0,$$

womit das Vorzeichen von (16) gezeigt ist.

Man erhält (11) wie folgt: differenzieren führt auf

$$\frac{\partial \ln D^*}{\partial \ln \theta} = 1 + \frac{\partial \ln D^*}{\partial \beta} \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \theta,$$

wobei der zweite Ausdruck

$$-\frac{\theta}{(\beta - 1)b\sigma^2}$$

entspricht. Die Ableitung ist positiv, wenn der Betrag des zweiten Ausdrucks kleiner als 1 ist und damit

$$\sigma^2 \beta b > \frac{\beta \theta}{\beta - 1}$$

gilt. Der rechte Term ist die statische Anfangsrendite, ab der die Option ausgeübt werden sollte. Nutzen wir die Umformulierung (17) und ersetzen die rechte Seite, dividieren beide Seiten der Ungleichung durch  $\sigma^2$ , multiplizieren mit 2, ergänzen  $a^2 - a^2$  und stellen um, so erhalten wir

$$2\beta b - \left( a^2 + \frac{2i}{\sigma^2} \right) + a^2 > \beta .$$

Der Term in der Klammer ist  $b^2$  und mit  $a + b = \beta$  erhalten wir schließlich durch Umformen der linken Seite die äquivalente Ungleichung

$$\beta^2 > \beta ,$$

was mit  $\beta > 1$  erfüllt ist.

## Literatur

Brauer, K.-U. (1999), Renditeberechnung bei Immobilieninvestitionen, in K.-U. Brauer (Hrsg.), *Grundlagen der Immobilienwirtschaft. Recht – Steuern, Marketing – Finanzierung, Bestandsmanagement, Projektentwicklung*, Gabler, 347–409.

Deutsche Bundesbank (1997), Schätzung von Zinsstrukturkurven, *Deutsche Bundesbank Monatsbericht* (Oktober), 61–66.

Dixit, A. K. und Pindyck, R. S. (1994), *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Gottschalk, G.-J. (1999), *Immobilienwertermittlung*, C.H. Beck, München.

Hommel, U. und Pritsch, G. (1999a), Investitionsbewertung und Unternehmensführung mit dem Realoptionsansatz, in A.-K. Achleitner and G. F. Thoma (Hrsg.), *Handbuch Corporate Finance, Ergänzungslieferung 4/1999*, Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, 1–68.

- Hommel, U. und Pritsch, G. (1999b), Marktorientierte Investitionsbewertung mit dem Realloptionsansatz: Ein Implementierungsleitfaden für die Praxis, *Finanzmarkt und Portfolio Management* **13**, 121–144.
- Leung, B. Y. P. und Hui, E. C. M. (2002), Option pricing for real estate development: Hong Kong Disneyland, *Journal of Property Investment & Finance* **20**, 473–495.
- Lucius, D. I. (2000), Real options in real estate development, *Journal of Property Investment & Finance* **139**, 73–78.
- Ott, S. H. und Yi, H.-C. (2001), Real options and development: A model of regional supply and demand, *Real Estate Finance* Spring, 47–55.
- Patel, K. und Sing, T. F. (2000), Implied volatility in the U.K. commercial property market: Empirical evidence based on transaction data, *Journal of Real Estate Finance and Economics* **20**, 5–24.
- Pindyck, R. S. (1991), Irreversibility, uncertainty, and investment, *Journal of Economic Literature* **29**, 1110–1148.
- Quigg, L. (1993), Empirical testing of real option-pricing models, *Journal of Finance* **48**, 621–640.
- Trigeorgis, L. (1996), *Real Options, Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, MIT Press, Cambridge MA.
- Yamazaki, R. (2001), Empirical testing of real option pricing models using land price index in Japan, *Journal of Property Investment & Finance* **19**, 53–72.