Universität Zürich[UZH]

Abschlussarbeit

zur Erlangung des

Master of Advanced Studies in Real Estate

Projektentwicklungsbewertung mit Monte-Carlo-Simulationen:
Risikoanalyse und Entscheidungsunterstützung

Verfasser: Giger
Claude

Eingereicht bei: Dr. Mihnea Constantinescu

Abgabedatum: 09.09.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis II

Abkürzungsverzeichnis V

Abbildungsverzeichnis VI

Tabellenverzeichnis VII

Executive Summary VIII

1. Einleitung 1

1.1 Ausgangslage 1

1.2 Problemstellung und Lösungsansatz 2

1.2.1 Vorteile und Einschränkungen der DCF-Methode 2

1.2.2 Herausforderungen in der Bewertung von Immobilienprojekten 3

1.2.3 Monte-Carlo-Simulationen als möglicher Lösungsansatz 7

1.3 Zielsetzung 7

1.4 Vorgehen und Aufbau 8

2. Literaturübersicht 10

2.1 Umgang mit Risiken und Unsicherheiten in der Bewertung 10

2.2 Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen in der Immobilienbewertung 11

2.3 Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen in der Projektentwicklung 13

3. Bewertungsmethodik und Begriffe 17

3.1 Risiko und Unsicherheit 17

3.2 Discounted-Cashflow-Methode 18

3.3 Monte-Carlo-Simulation 21

4. Modellspezifikation 22

4.1 Grundlegende Annahmen 22

4.2 Festlegung der stochastischen und deterministischen Variablen 23

4.2.1 Angebotsmieten und Mietpreiswachstum 24

4.2.2 Leerstandsziffer 24

4.2.3 Projektierungskosten, Baukosten und Instandsetzungskosten 25

4.2.4 Risikoloser Zinssatz 25

4.2.5 Risikoprämie ... 27
4.2.6 Bauverzögerungen ... 29
4.3 Korrelation ... 30
4.4 Übersicht der stochastischen und deterministischen Variablen ... 31
4.5 Vorgehen ... 32
5. Daten ... 34
5.1 Immobilienprojekte ... 34
5.2 Korrelationen ... 35
5.3 Verteilung der stochastischen Variablen ... 36
5.3.1 Angebotsmieten und Mietpreiswachstum ... 36
5.3.2 Leerstandsziffer ... 37
5.3.3 Projektierungs-, Bau- und Instandsetzungskosten ... 37
5.3.4 Diskontierungssatz ... 38
5.3.5 Bauverzögerungen ... 42
6. Ergebnisse ... 43
6.1 Simulationsergebnisse ... 43
6.2 Risikoparameter ... 43
6.3 Sensitivitäten ... 44
7. Zusammenfassung und Fazit ... 48
7.1 Fazit ... 48
7.2 Diskussion ... 49
7.3 Ausblick ... 50
8. Literaturverzeichnis ... 52
9. Anhang ... 57
9.1 Verteilung der stochastischen Variablen ... 57
9.1.1 Angebotsmieten ... 57
9.1.2 Mietpreiswachstum ... 57
9.1.3 Leerstandsziffer ... 58

9.1.4 Projektierungskosten 58

9.1.5 Baukosten 59

9.1.6 Instandsetzungskosten 59

9.1.7 Beispielhafte Simulationsergebnisse der risikolosen Zinssätze 60

9.1.8 Immobilienmarkspezifische Risikoprämie 60

9.1.9 Objektspezifische Risikoprämie 61

9.1.10 Bauverzögerungen 61

9.2 Ergebnisse 62

9.2.1 Projekt 1 62

9.2.2 Projekt 2 62

9.2.3 Projekt 3 63

9.2.4 Projekt 4 63

9.2.5 Projekt 5 64

9.2.6 Projekt 6 64

Abkürzungsverzeichnis

APV	Adjusted Present Value
BFS	Bundesamt für Statistik
BOPM	Binominal Options Pricing Model
bp	Basispunkte
BW	Barwert
CIR	Cox-Ingersoll-Ross
DCF	Discounted Cash Flow
FCF	Free Cash Flow
FPOM	Fuzzy Payoff Methode
GAAP FER	Generally Accepted Accounting Principles FER
IFRS	International Financial Reporting Standards
IVS	International Valuation Standards
MCS	Monte-Carlo-Simulation
ML	Maximum Likelihood
NPV	Net Present Value
OLS	Ordinary Least Squares
ROV	Real Options Valuation
SNB	Schweizerische Nationalbank
SVKG	Schweizerische Vereinigung kantonaler Grundstückbewertungsexperten
VaR	Value-at-Risk
WACC	Weighted Average Cost of Capital

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phasen des Projektentwicklungsprozesses (in Anlehnung an Bone-Winkel, 1994, S. 56) 4
Abbildung 2: Kosten und Risiken im Projektverlauf (in Anlehnung an Fahrländer Partner, 2021, S. 106) 6
Abbildung 3: Regionale Verteilung der Immobilienprojekte 34
Abbildung 4: Simulierte Entwicklung der realen Renditen 10-jähriger Bundesobligationen von 2024-2123 40
Abbildung 5: Dichtefunktion der Entwicklung der realen Renditen 10-jähriger Bundesobligationen 41
Abbildung 6: Dichtefunktion der simulierten Barwerte der Entwicklungsprojekte 43
Abbildung 7: Absolute Häufigkeitsverteilung des Angebotsmietertrags von Projekt 3 im Jahr 2020 57
Abbildung 8: Absolute Häufigkeitsverteilung des Mietpreiswachstum von Projekt 1 im Jahr 2025 57
Abbildung 9: Absolute Häufigkeitsverteilung der Leerstandsziffer von Projekt 3 im Jahr 2020 58
Abbildung 10: Absolute Häufigkeitsverteilung der Projektierungskosten von Projekt 6 im Jahr 2022 58
Abbildung 11: Absolute Häufigkeitsverteilung der Erstellungskosten von Projekt 4 im Jahr 2015 59
Abbildung 12: Absolute Häufigkeitsverteilung der Instandsetzungskosten von Projekt 2 im Jahr 2026 59
Abbildung 13: Absolute Häufigkeitsverteilung der immobilienmarktspezifischen Risikoprämie 60
Abbildung 14: Absolute Häufigkeitsverteilung der effektiven Bewilligungsdauer von Projekt 5 61
Abbildung 15: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 1 62
Abbildung 16: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 2 62
Abbildung 17: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 3 63
Abbildung 18: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 4 63
Abbildung 19: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 5 64
Abbildung 20: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 6 64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variablenübersicht 31
Tabelle 2: Verteilung und Parameter der stochastischen Variablen 32
Tabelle 3: Korrelation der stochastischen Variablen 36
Tabelle 4: Regression der nominalen risikolosen Zinsen auf Inflation 38
Tabelle 5: ML-Schätzung für die Parameter des Vasicek-Modells 39
Tabelle 6: Deskriptive Statistik der MCS aller Entwicklungsprojekte 44
Tabelle 7: Sensitivitätsanalyse 45
Tabelle 8: Deskriptive Statistik der Simulation der risikolosen Zinssätze 60
Tabelle 9: Zusammensetzung der objektspezifischen Risikoprämie 61

Executive Summary

Die vorliegende Arbeit erweitert die Beiträge von Fries, 2016 und Hoesli et al., 2006 um die Bewertung von Immobilienentwicklungsprojekten mittels Monte-Carlo-Simulationen (MCS). Traditionell werden in der Schweiz Immobilienprojekte häufig durch das Discounted Cash Flow (DCF)-Verfahren bewertet, das zukünftige Zahlungsströme diskontiert, um den Barwert zu ermitteln. Jedoch hat die DCF-Methode ihre Grenzen, insbesondere bei der Berücksichtigung von Risiken und Unsicherheiten, die für Immobilienprojekte typisch sind.

Die Arbeit schlägt die Anwendung von MCS als Lösung vor, um diese Bewertungsprobleme zu adressieren. MCS ermöglicht die Modellierung von Unsicherheiten durch die Simulation vieler möglicher Szenarien, was eine detailliertere Risikoanalyse erlaubt. Durch die Verwendung statistischer Techniken und Wahrscheinlichkeitsverteilungen können die Auswirkungen von Variablen wie Diskontsatz, Mietpreiswachstum, Leerstand, Baukosten und Bauverzögerungen besser quantifiziert werden.

Die Simulation wird auf sechs reale Immobilienprojekte angewendet. Die Ergebnisse der Simulationen werden mit traditionellen DCF-Bewertungen verglichen, wobei Unterschiede in den Erwartungswerten und eine verbesserte Darstellung von Risiken aufgezeigt werden.

Es wird dargelegt, dass die Anwendung von MCS in der Immobilienbewertung nicht nur theoretisch fundiert ist, sondern auch praktische Vorteile bietet, indem sie eine detailliertere Risikoanalyse und damit eine fundiertere Entscheidungsfindung ermöglicht. Allerdings ist dies mit einigen Herausforderungen verbunden: Dazu gehören die Auswahl geeigneter Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Eingangsvariablen, die Sicherstellung der Datenqualität und die Komplexität der Modellierung. Zudem erfordert die Implementierung von MCS spezifisches Fachwissen und Softwaretools.

Bei kleineren und weniger komplexen Projekten wird die Anwendung von MCS trotz vieler Vorteile nicht empfohlen. Der Aufwand und die Komplexität sind zu gross und ein erfahrener Projektentwickler kann die Risiken und Unsicherheiten abschätzen. Sind die Projekte jedoch grösser und komplexer sind auch die Erfahrungswerte begrenzt und es bietet sich die Durchführung einer Bewertung mittels MCS an.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Entwicklung von Immobilienprojekten ist mit zahlreichen Herausforderungen, Unsicherheiten und Risiken behaftet. Diese ergeben sich aus der Komplexität des Prozesses, externen Einflüssen, Marktbedingungen, der langen Entwicklungsdauer und der erheblichen Kapitalbindung (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 554-558). Daher kommt der Bewertung solcher Projekte eine besonders wichtige Rolle zu. Sie bildet die Grundlage zur Bestimmung des wirtschaftlich tragbaren Investitionsvolumens sowie des Kaufpreises für ein Grundstück oder eines demodierten Bestands unter angemessener Berücksichtigung der Risiken. Bewertungen dienen aber auch der Transparenz für Investoren und Anleger. So sind institutionelle Investoren verpflichtet, Immobilienprojekte in der Jahresrechnung nach den geltenden Rechnungslegungsstandards abzubilden.[1]

Zu den gängigsten Bewertungsmethoden in der Schweiz zählen das Residualwertverfahren und die Discounted Cash Flow (DCF)-Methode. Das Residualwertverfahren ist eine statische Berechnung und besonders im Kontext der Projektentwicklung von grosser Bedeutung. Dabei wird der Wert eines Grundstücks anhand des potenziellen Ertrags nach Abzug der Entwicklungskosten ermittelt. Der Ablauf des Verfahrens umfasst die Schätzung des möglichen Verkaufspreises oder der Mieteinnahmen der fertiggestellten Immobilie. Von diesem geschätzten Ertrag werden die erwarteten Kosten für Bau, Finanzierung, Marketing und weitere Entwicklungskosten abgezogen. Der verbleibende Betrag stellt den Residualwert dar, welcher den maximalen Kaufpreis des Grundstücks oder eines Abbruchobjekts, die dem Projekt zugrunde liegt, bestimmt (Atherton et al., 2008, S. 163; SVKG, 2019, S. 190; Fahrländer & Kloess, 2023, S. 328-330). Diese Methode wird häufig bei der Entwicklung von Projekten für den Verkauf oder bei kleineren Projekten angewendet. Dabei steht vor allem die Bestimmung des tragfähigen Investitionsvolumens im Vordergrund und weniger die ordentliche Wertermittlung.[2]

Für die Bewertung von Projektentwicklungen für den eigenen Bestand und die Wertermittlung im Rahmen der finanziellen Berichterstattung von institutionellen Investoren hat sich das DCF-Verfahren als führende Methode etabliert. Als dynamisches Ertragswertverfahren ermöglicht es, zukünftige Erträge und Kosten flexibel zu modellieren. So

[1] Vgl. Art 957ff Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht), 1911, 30.3.1911 (Stand am 1. Januar 2024), SR 220

[2] Das Bundesgericht hat sich aufgrund des grossen Unsicherheitsfaktors in mehreren Entscheiden gegen die Verwendung der Residualwertmethode als geeignete Methode für eine Wertermittlung ausgesprochen (BGE 102 Ib 353, 1976 und BGE 122 I 168, 1996)

können auch komplexe Entwicklungsprojekte, deren Zahlungsströme sich über den Betrachtungszeitraum hinweg ändern, präzise berechnet und beurteilt werden (SVKG, 2019, S. 158; Fierz, 2011, S. 153). Entsprechend stösst die DCF-Methode sowohl bei Akademikern als auch in der Praxis auf grosse Akzeptanz (Hoesli et al., 2006, S. 102). Die Bewertung der Grundstücke bei Immobilienfonds hat daher nach der dynamischen Ertragswertmethode zu erfolgen (Asset Management Association Switzerland, 2008, S. 4). Für Investoren, die nach dem Rechnungslegungsstandard IFRS bilanzieren, wird von den IVS die Anwendung der DCF-Methode empfohlen. Auch die Fachempfehlungen zur Rechnungslegung der Swiss GAAP FER orientieren sich in der Praxis an IFRS und somit ebenfalls an den Empfehlungen der IVS (Loepfe et al., 2017, S. 35).

1.2 Problemstellung und Lösungsansatz

1.2.1 Vorteile und Einschränkungen der DCF-Methode

Ein zentraler Vorteil der DCF-Methode ist seine Fähigkeit, zukünftige Erträge und Kosten über die gesamte Lebensdauer eines Projekts detailliert zu berücksichtigen (SVKG, 2019, S. 158). Die dynamische Komponente der DCF-Methode erlaubt es, verschiedene Szenarien und Annahmen über zukünftige Entwicklungen flexibel zu modellieren. Dies ermöglicht eine präzise Modellierung der zukünftigen Zahlungsströme, was besonders wertvoll für Immobilienprojekte mit langfristigen Ertragsströmen ist. Zudem basiert die Methode auf ökonomischer Rationalität, indem sie den Zeitwert des Geldes berücksichtigt und die Bewertungsresultate sind unabhängig von der Risikopräferenz des Investors (Mun, 2006, S. 66). Auch ist die DCF-Methode weit verbreitet und verhältnismässig einfach umzusetzen.

Trotz dieser Vorteile weist die DCF-Methode auch wesentliche Schwächen auf. Die traditionelle DCF-Methode folgt deterministischen Annahmen (Hoesli et al., 2006, S. 102). Das bedeutet, die Bewertungsmethode basiert auf Prognosen über die zukünftigen Grössen der Eingabeparameter, wobei diese Parameter jeweils nur einen Wert annehmen können. Folglich werden Unsicherheiten in der Prognose der Entwicklung dieser Parameter nicht, oder nur in sehr begrenztem Rahmen zugelassen. French & Gabrielli (2005, S. 76-77), Hoesli et al. (2006, S. 102-103) und Baroni et al. (2006, S. 462) weisen insbesondere auf die Schwierigkeit hin, die zukünftigen Geldflüsse, den Diskontsatz und den Endwert zu bestimmen. Diese Schwäche ist besonders gravierend bei der Bewertung von Immobilienprojekten, da zum Zeitpunkt der finanziellen Beurteilung erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Eingabeparameter bestehen (Mintah et al., 2018, S. 101-102). Materialisieren sich die Prognosen dieser Parameter in der Realität nicht wie erwartet, verliert die

Bewertung, auf deren Grundlage der Investitionsentscheid getroffen wurde, ihre Gültigkeit (Kelliher & Mahoney, 2000, S. 45).

Auch wenn diese Eingabeparameter sorgfältig bestimmt werden, kann die DCF-Methode nur Punktschätzungen des Wertes erzeugen. Dadurch wird das Spektrum an möglichen Resultaten ignoriert und es können keine oder nur sehr begrenzte Aussagen zu den Risiken gemacht werden. Das führt zu einer Verzerrung des Gesamtbildes, das für die Entscheidungsfindung herangezogen wird (Gimpelevich, 2011, S. 116).

Ein weiterer Nachteil der DCF-Methode ist der über den Betrachtungszeitraum konstant bleibende Diskontsatz. Dies ist insofern problematisch, als Forschungen von Fama & French (1989, S. 23-49) und Ferson & Campell (1991, S. 385-415) gezeigt haben, dass die Preise und Renditen von Investitionsanlagen stärker mit Veränderungen des geforderten Ertrags und somit des Diskontierungssatzes zusammenhängen als mit Veränderungen der erwarteten Ertragsströme.

1.2.2 Herausforderungen in der Bewertung von Immobilienprojekten

Die Projektentwicklung ist eine komplexe und vielschichtige Disziplin in der Immobilienwirtschaft. Sie umfasst diverse Prozessschritte von der Grundstücksevaluation bis zur endgültigen Fertigstellung eines Projekts (vgl. Abbildung 1, Seite 4). Dieser Prozess erfordert ein tiefes Verständnis des Marktes, eine sorgfältige Planung und Koordination sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren wie Investoren, Architekten, Bauunternehmen, Immobiliendienstleistern und Behörden.

Die Grundstücksevaluation bildet den Ausgangspunkt für jedes Immobilienprojekt. In dieser Phase wird geprüft, ob ein bestimmtes Grundstück für die geplante Entwicklung geeignet ist. Faktoren wie die Grösse, Lage, Zugänglichkeit, Topografie und bestehende Infrastruktur des Grundstücks werden analysiert. Ein weiterer Bestandteil der Grundstücksevaluation ist die Überprüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen. Dies umfasst die Analyse der Bauzone, Nutzungsvorgaben, Dichte und allfällige grundbuchrechtliche Restriktionen. Ein umfassendes Verständnis dieser Rahmenbedingungen ist unerlässlich, um die Machbarkeit eines Projekts sicherzustellen und spätere rechtliche Konflikte zu vermeiden. Parallel zur Grundstücksevaluation erfolgt eine umfassende Marktanalyse. Diese Analyse ist entscheidend, um die aktuelle und zukünftige Nachfrage nach dem geplanten Immobilientyp zu bewerten. Die Marktanalyse umfasst die Untersuchung von demografischen Daten, wirtschaftlichen Trends, Mietpreisentwicklungen, sowie das Angebot und die Nachfrage auf dem lokalen Immobilienmarkt. Zusätzlich werden

Wettbewerbsanalysen durchgeführt, um ähnliche bestehende oder geplante Projekte in der Umgebung zu identifizieren und deren Erfolgsaussichten zu bewerten. Diese Informationen helfen dabei, das Projekt besser zu positionieren und Marktchancen optimal zu nutzen.

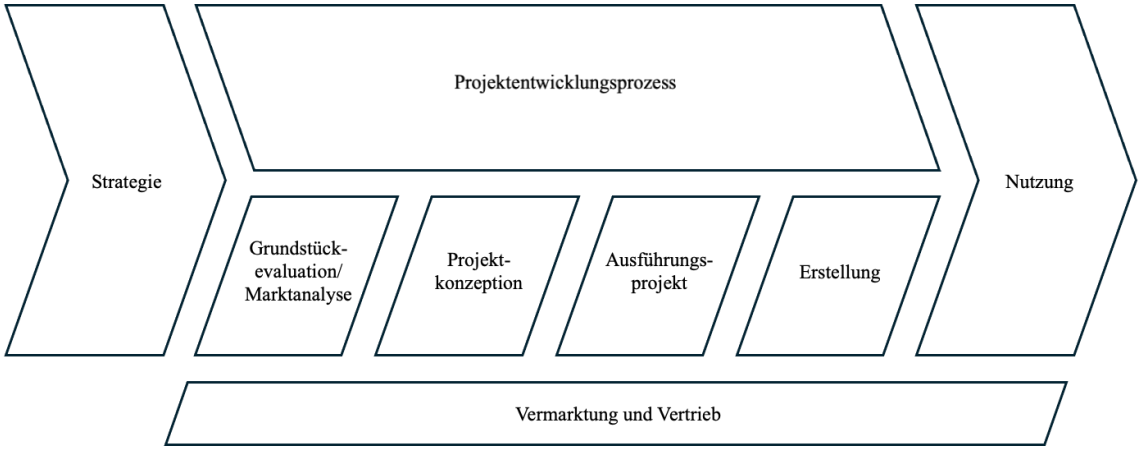

Abbildung 1: Phasen des Projektentwicklungsprozesses (in Anlehnung an Bone-Winkel, 1994, S. 56)

Auf Basis der Grundstücks- und Marktanalyse wird ein detailliertes Konzept für das Immobilienprojekt entwickelt. Dieses Konzept umfasst die Definition der Zielgruppen und eine Nutzungskonzeption. Es wird ein Vorprojekt mit einer Einschätzung der Bewilligungsfähigkeit erstellt, das später weiter ausgearbeitet wird. Eine fundierte Machbarkeitsstudie bewertet auch die wirtschaftliche Realisierbarkeit des Projekts. Dies umfasst die Erstellung detaillierter Kostenschätzungen für den Bau, den Betrieb und die Instandhaltung der Immobilie. Darüber hinaus werden Einnahmenprognosen erstellt, die auf Marktanalysen und vergleichbaren Projekten basieren. Eine Rentabilitätsanalyse zeigt, ob das Projekt wirtschaftlich tragfähig ist und welche Renditen zu erwarten sind. Danach wird das Baugesuch ausgearbeitet und eingereicht.

Die Einholung der notwendigen Genehmigungen ist ein kritischer Schritt in der Immobilienprojektentwicklung. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden. Bauanträge müssen eingereicht und Umweltverträglichkeitsprüfungen durchgeführt werden. Es müssen alle lokalen Bauvorschriften und -standards eingehalten werden, um die erforderlichen Genehmigungen zu erhalten. Dieser Prozess kann zeitaufwändig sein und erfordert oft Anpassungen der Pläne, um alle Auflagen zu erfüllen.

Bevor die Bauarbeiten beginnen, werden Bauaufträge ausgeschrieben und Bauunternehmen sowie Subunternehmer ausgewählt. Dies umfasst die Erstellung detaillierter Aus-

schreibungsunterlagen, die Bewertung der eingehenden Angebote und die Vergabe der Bauaufträge. Die eigentliche Bauphase erfordert ein effektives Projektmanagement, um sicherzustellen, dass die Arbeiten gemäss dem Zeitplan und Budget durchgeführt werden. Bauleiter überwachen den Fortschritt, koordinieren die Arbeiten und stellen sicher, dass alle Qualitäts- und Sicherheitsstandards eingehalten werden. Regelmässige Baustellenbesichtigungen und Besprechungen sind notwendig, um Probleme frühzeitig zu erkennen und zu lösen. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Projektmanagements ist das Änderungsmanagement. Während der Bauphase können unvorhergesehene Herausforderungen oder Änderungen auftreten, die eine Anpassung der Pläne erfordern. Ein strukturiertes Änderungsmanagement hilft dabei, diese Anpassungen effizient umzusetzen und die Auswirkungen auf Zeitplan und Budget zu minimieren.

Während der Erstellungsphase intensiviert sich die Vermarktung und der Vertrieb. Eine gezielte Marketingstrategie ist entscheidend, um das Interesse potenzieller Käufer oder Mieter zu wecken. Die Marketingstrategie sollte auch die Positionierung des Projekts auf dem Markt berücksichtigen. Dazu gehört die Festlegung von Preisstrategien, die Entwicklung von Werbematerialien und die Planung von Vertriebsaktivitäten. Der Vertrieb umfasst die Verhandlung und den Abschluss von Verkaufs- oder Mietverträgen. Eine enge Zusammenarbeit mit Immobilienmaklern und die Nutzung von Netzwerken kann den Prozess beschleunigen.

Die Übergabe des Projekts an die neuen Eigentümer oder Mieter ist der abschliessende Schritt. Eine gute Nachbetreuung und die Erbringung von Garantieleistungen sind wichtig, um Kundenzufriedenheit sicherzustellen. Zur Nachbetreuung gehört auch die Unterstützung bei eventuellen Mängeln, die nach der Übergabe festgestellt werden, sowie die Bereitstellung von Service- und Wartungsdienstleistungen. Ein professioneller Kundendienst trägt zur Zufriedenheit der Nutzer bei und kann positive Empfehlungen und Wiederholungsgeschäfte fördern.

Die Beschreibung der Phasen verdeutlicht, dass die Projektentwicklung eine Disziplin mit hohem Risiko darstellt. Dies liegt an der grossen Anzahl und Interaktion der Beteiligten, dem langen Entstehungszeitraum, der hohen Komplexität und der erheblichen Kapitalbindung. Fahrländer & Kloess (2023, S. 553-559) identifizieren hierbei spezifische Risiken: Planungsrisiken (Entwicklungs- und Projektierungsrisiken, politische Risiken, Bewilligungsrisiken), Realisierungsrisiken (Kostenrisiken, Zeit- und Qualitätsrisiken) sowie Marktrisiken (Absorptionsrisiko, Mietzinsrisiko, Diskontierungsrisiko). Insbesondere in der Phase der Machbarkeitsstudie, in der die initiale Bewertung und Beurteilung

des Projekts erfolgt, sind die Risiken aufgrund der zahlreichen unklaren Einflussfaktoren und Unsicherheiten besonders ausgeprägt (vgl. Abbildung 2).

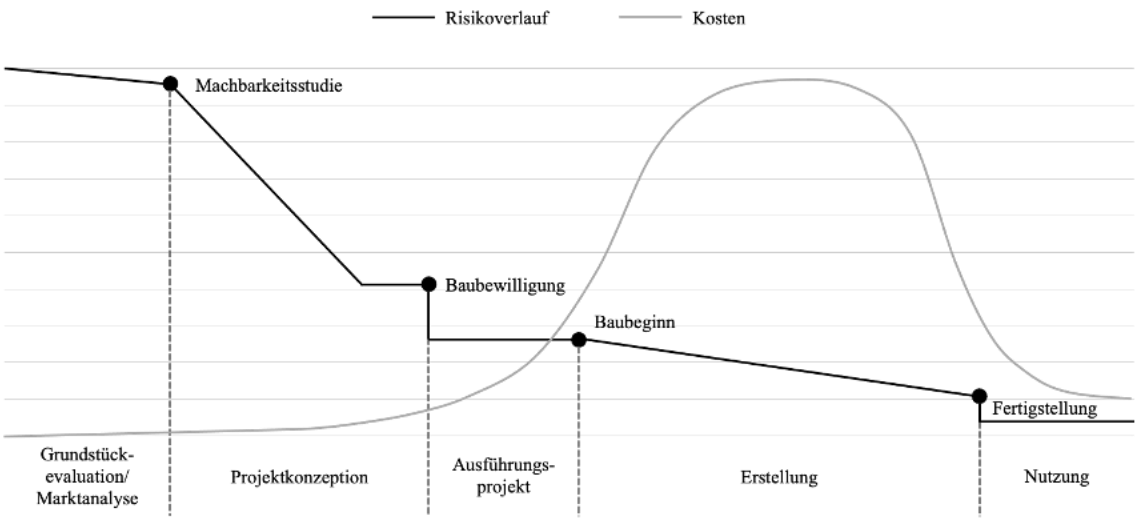

Abbildung 2: Kosten und Risiken im Projektverlauf (in Anlehnung an Fahrländer Partner, 2021, S. 106)

Der Diskontierungssatz im klassischen DCF-Modell kann nun zwar so angepasst werden, dass die aus den Unsicherheiten entstehenden Risiken berücksichtigt werden. Allerdings ist dieses Vorgehen mit mindestens zwei Herausforderungen verbunden: Erstens ist die Bestimmung der Sicherheitsmarge in der Praxis schwierig, weil die Risiken selten beobachtet werden können. Wird die Sicherheitsmarge zu hoch angesetzt, könnte das Projekt fälschlicherweise nicht realisiert werden. Wird sie hingegen zu niedrig angesetzt, kann das zu einem erheblichen Verlust führen (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 555). Zweitens ist in der DCF-Methode der Diskontierungssatz, einschliesslich der Sicherheitsmarge, üblicherweise über den gesamten Betrachtungszeitraum einheitlich. Dies ist insbesondere problematisch bei Bewertungen, die sowohl die Entwicklungs- und Erstellungsphase als auch die Nutzungsphase umfassen. Während in der Entwicklungs- und Erstellungsphase aufgrund vieler Unsicherheiten eine höhere Risikomarge auf den Diskontierungssatz angewendet werden muss, nimmt das Risiko mit fortschreitendem Projektfortschritt ab (vgl. Abbildung 2).

Nach der Fertigstellung, also in der Nutzungsphase, ist das Risiko auf das übliche Niveau der Anlageklasse Bestandsimmobilie begrenzt (Geltner et al., 2014, S. 762-777). Die Anwendung eines durchschnittlichen Diskontsatzes über den gesamten Bewertungszeitraum führt dazu, dass die Erträge in der Nutzungsphase ebenfalls mit einem Risikozuschlag abgezinst werden. Dies ist problematisch, da die Erträge in dieser Phase nicht mehr der

Unsicherheit der Projektentwicklung unterliegen und stattdessen ein Zinssatz für Bestandsimmobilien angewendet werden sollte.

1.2.3 Monte-Carlo-Simulationen als möglicher Lösungsansatz

Als einer der ersten schlägt Hertz (1964, S. 95-106) vor, anstelle deterministischer Bewertungsmodelle, probabilistische Ansätze zu verwenden, um die Risiken bei Kapitalinvestitionen zu messen und bessere Entscheidungen zu ermöglichen. Er entwickelt eine Methode, bei der verschiedene Ebenen möglicher Zahlungsströme und Renditen eines geplanten Investments simuliert und die Wahrscheinlichkeiten für jedes mögliche Ergebnis geschätzt werden. Diese Methode verwendet Monte-Carlo-Simulationen (MCS), um eine realistischere Darstellung der Risiken und potenziellen Erträge zu bieten. Dieser Ansatz wurde in zahlreichen Abhandlungen auf die Immobilienbewertung angewendet. Beispiele hierfür sind die Beiträge von Pyhrr (1973, S. 48-78), Li (2000, S. 86-92), Kelliher & Mahoney (2000, S. 44-56), French & Gabrielli, (2005, S. 76-89), Hoesli et al. (2006, S. 102-122) und Baroni et al. (2006, S. 462-486). Auch in den Arbeiten von Atherton et al. (2008, S. 162-182), Gimpelevich (2011, S. 115-144) und Loizou & French (2012, S. 198-210) finden sich Anwendungen der MCS spezifisch für die Bewertung von Projektentwicklungen. Das Ziel aller Beiträge ist es, die Mängel der DCF-Methode zu adressieren, indem stochastische Werkzeuge zur Messung des gesamten Spektrums möglicher Ergebnisse eingesetzt werden. Dabei nehmen die Eingabeparameter nicht deterministische Werte an, wie es bei der DCF-Methode der Fall ist. Stattdessen werden die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Parameter bestimmt und dann mittels einem Simulationsverfahren zufällige Werte ausgewählt. Durch wiederholte Simulationen werden viele mögliche Szenarien erstellt und die Wahrscheinlichkeiten berechnet. Das Ergebnis ist keine Punktschätzung des Wertes des Immobilienprojekts, sondern eine Verteilung möglicher Werte. Die Berücksichtigung einer Vielzahl möglicher Ergebnisse erlaubt eine detailliertere und realistischere Bewertung der Risiken, indem Risikoparameter wie beispielsweise Value-at-Risk (VaR), Ausfallwahrscheinlichkeit, Schiefe und Kurtosis beurteilt werden können. Anhand dieser Informationen erhalten Entscheidungsträger eine höhere Transparenz und können fundiertere Investitionsentscheide treffen.

1.3 Zielsetzung

Die vorliegende Masterarbeit hat das Ziel, die Anwendung von MCS als fortschrittliche Methode zur Bewertung von Immobilienentwicklungsprojekten zu untersuchen und deren Vorteile gegenüber der traditionellen DCF-Methode herauszuarbeiten. Dazu sollen DCF-Bewertungen von realen und bereits realisierten oder sich in der Realisierung

befindlichen Immobilienentwicklungsprojekte mit MCS neu bewertet und anschliessend verglichen werden. Ziel ist es, ein MCS-Modell zu entwickeln, das die Unsicherheiten in den Eingangsparametern berücksichtigt und eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Ergebnisse liefert. Dabei wird untersucht, ob und wie stark sich der Erwartungswert der Bewertungen mit der DCF-Methode von der Bewertung mit MCS unterscheidet. Es wird analysiert, inwieweit die detaillierte Darstellung von Risiken und Unsicherheiten durch MCS zu einer verbesserten Aussagekraft der Bewertung führt. Die Arbeit beleuchtet zudem die praktischen Implikationen der Anwendung der MCS, einschliesslich der Vorteile und potenziellen Hürden, die bei der Implementierung dieser Methode in der Praxis auftreten können. Durch die Entwicklung eines MCS-Modells und die Anwendung auf realisierte Immobilienprojekte soll untersucht werden, wie stochastische Methoden traditionelle Bewertungsansätze ergänzen und verbessern können. Diese Arbeit strebt an, einen Beitrag zur Immobilienprojektbewertung zu leisten, indem sie die Möglichkeiten von MCS als Instrument zur Risikobewertung und Entscheidungsunterstützung aufzeigt.

1.4 Vorgehen und Aufbau

Die vorliegende Masterarbeit gliedert sich in mehrere zentralen Abschnitte, die systematisch die Fragestellungen und Ziele der Untersuchung bearbeiten. In Kapitel 2 wird eine umfassende Literaturübersicht präsentiert, die die theoretischen Grundlagen der MCS in der Immobilienbewertung behandelt. Die Literaturübersicht untersucht, wie die Monte-Carlo-Methode als fortschrittliche Methode zur Risikobewertung und Entscheidungsunterstützung genutzt werden kann.

Kapitel 3 befasst sich mit der Bewertungsmethodik und den grundlegenden Begriffen. Hier werden die Definitionen von Risiko und Unsicherheit erläutert und die DCF-Methode detailliert beschrieben. Es wird gezeigt, wie diese traditionelle Methode zukünftige Zahlungsströme bewertet und welche Annahmen dabei zugrunde gelegt werden. Anschliessend wird die MCS eingeführt, einschliesslich der Beschreibung der statistischen Techniken und der Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die in die Bewertung einfliessen.

In Kapitel 4 wird die Modellspezifikation beschrieben. Dies umfasst die Auswahl und Festlegung der stochastischen und deterministischen Variablen, die für die Simulation und Bewertung der Immobilienprojekte mit MCS notwendig sind. Wichtige Variablen wie Angebotsmieten, Mietpreiswachstum, Baukosten, Instandsetzungskosten, risikoloser Zinssatz, Risikoprämie und potenzielle Bauverzögerungen werden definiert und erläutert. Das Kapitel erklärt, wie diese Variablen in das Modell integriert werden, um eine realistische und umfassende Bewertung zu ermöglichen.

Kapitel 5 widmet sich den Daten, die für die Anwendung der Bewertungsmethoden verwendet werden. Es werden die ausgewählten Immobilienprojekte vorgestellt. Die Verteilung der stochastischen Variablen wird detailliert dargestellt, um die Grundlage für die MCS zu schaffen. Darüber hinaus werden die Korrelationen zwischen den verschiedenen Variablen analysiert und beschrieben.

Anschliessend werden in Kapitel 6 die Ergebnisse der Bewertung anhand MCS präsentiert. Die Simulationsergebnisse der MCS werden mit den Ergebnissen der traditionellen DCF-Bewertungen verglichen. Dabei werden Unterschiede in den Erwartungswerten, die Darstellung von Risiken und Unsicherheiten sowie die potenziellen Auswirkungen auf die Entscheidungsfindung analysiert. Dieses Kapitel zeigt, wie die MCS eine detailliertere und realistischere Bewertung der Risiken ermöglicht.

Kapitel 7 fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammen und zieht Schlussfolgerungen. Es werden die Chancen und Herausforderungen bei der Bewertung von Immobilienentwicklungsprojekten mit MCS erörtert und praktische Implikationen für Investoren, Entwickler und andere Entscheidungsträger aufgezeigt. Abschliessend werden Handlungsempfehlungen für die Anwendung der MCS in der Praxis gegeben und mögliche Ansätze für weiterführende Forschungen aufgezeigt.

2. Literaturübersicht

Diese Arbeit befasst sich mit Unsicherheiten und Risiken in der Immobilienbewertung und der Anwendung der MCS in diesem Kontext. Der Fokus liegt auf der Bewertung von Immobilienprojekten unter Berücksichtigung der inhärenten Unsicherheiten und Risiken. In den folgenden Unterkapiteln werden die akademischen Beiträge zu diesen Themen detailliert dargestellt.

2.1 Umgang mit Risiken und Unsicherheiten in der Bewertung

Hertz (1964, S. 95-106) beleuchtet die Herausforderungen bei der Bewertung von Kapitalinvestitionen und stellt fest, dass viele traditionelle Methoden zur Risikobewertung unzureichend sind. Er argumentiert, dass die Unsicherheiten in den zugrunde liegenden Annahmen oft nicht ausreichend berücksichtigt werden, was zu ungenauen und potenziell riskanten Investitionsentscheidungen führen kann. Hertz (1964, S. 96-102) schlägt daher einen neuen Ansatz vor, der auf der Verwendung von Wahrscheinlichkeiten basiert, um ein umfassenderes Bild der möglichen Risiken und Chancen einer Investition zu zeichnen. Anstatt nur einen einzigen erwarteten Wert für die Rendite zu berechnen, wird ein Profil der möglichen Ergebnisse erstellt, das verschiedene Zahlungsströme, Renditen und deren Wahrscheinlichkeiten umfasst. Der Ansatz besteht aus drei Schritten: Zunächst werden für jede relevante Variable Bandbreiten und Wahrscheinlichkeiten geschätzt. Anschliessend werden zufällig Werte aus diesen Wahrscheinlichkeitsverteilungen ausgewählt und die Rendite für jede Kombination dieser Werte berechnet. Schliesslich wird dieser Prozess mehrfach wiederholt, um die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Renditen zu ermitteln. Durch diesen Ansatz erhält das Management ein detailliertes und differenziertes Bild der Risiken und Chancen einer Investition. Beispielsweise kann eine Investition mit einer erwarteten positiven internen Rendite auch das Risiko eines Totalverlusts oder die Chance auf eine hohe Rendite beinhalten, was in traditionellen Methoden oft nicht berücksichtigt wird. Hertz (1964, S. 105-106) betont, dass die Berücksichtigung von Unsicherheit und Risiko entscheidend für den langfristigen Erfolg von Investitionsentscheidungen ist. Der von ihm vorgeschlagene Ansatz bietet eine praktikable und theoretisch fundierte Methode zur Bewältigung der Herausforderungen bei der Bewertung von Kapitalinvestitionen. Traditionelle Methoden, die die Unsicherheiten nicht ausreichend berücksichtigen, können zu suboptimalen Entscheidungen führen. Der Einsatz von Wahrscheinlichkeiten und die Simulation verschiedener Szenarien bieten eine deutlich präzisere Grundlage für Investitionsentscheidungen und tragen dazu bei, potenzielle Fehlentscheidungen zu vermeiden und langfristig erfolgreich zu sein.

Hodder & Riggs (1985, S. 128-135) untersuchen in ihrem Beitrag die häufigsten Fehler und Herausforderungen, die bei der Bewertung risikoreicher Projekte auftreten können. Die Autoren beleuchten verschiedene Aspekte, die bei der Projektbewertung berücksichtigt werden müssen, um fundierte und nachhaltige Entscheidungen zu treffen. Ein zentrales Thema des Artikels ist die Problematik fehlerhafter Annahmen über das Risiko. Hodder & Riggs (1985, S. 128) betonen, dass viele Risikobewertungen auf unzureichenden oder fehlerhaften Annahmen basieren. Oftmals werden Risiken entweder unterschätzt oder überschätzt, was zu suboptimalen Entscheidungen führen kann. Die Autoren fordern daher eine sorgfältige Analyse und eine datenbasierte Herangehensweise, um realistische Risikoprofile zu erstellen. Ein weiterer Kritikpunkt ist der übermässige Fokus auf kurzfristige finanzielle Ergebnisse. Hodder & Riggs (1985, S. 131) argumentieren, dass dieser Fokus oft dazu führt, dass langfristige Risiken und Chancen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Sie betonen die Bedeutung einer langfristigen Planung, die auch zukünftige Entwicklungen und Unsicherheiten in die Bewertung einbezieht. Schliesslich diskutieren die Autoren die Bedeutung der richtigen Bewertungsmethoden. Sie heben hervor, dass die Auswahl der Bewertungsmethoden und -modelle entscheidend ist, um fundierte Entscheidungen zu treffen. Jede Methode hat ihre Stärken und Schwächen und ist je nach Kontext unterschiedlich geeignet. Hodder & Riggs (1985, S. 133-134) fordern eine sorgfältige Auswahl und Anwendung der Methoden, um eine realistische und umfassende Bewertung zu gewährleisten. Insgesamt plädieren Hodder & Riggs (1985, S. 134-135) für eine bedachte und fundierte Bewertung risikoreicher Projekte.

2.2 Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen in der Immobilienbewertung

Im Beitrag von Pyhrr (1973, S. 48-78) wird ein Modell präsentiert, das die Risiken im Zusammenhang mit Immobilieninvestitionen mithilfe von Computersimulationen bewertet. Pyhrrs (1973, S. 48) Arbeit richtet sich an Entscheidungsträger im Immobiliensektor und bietet einen strukturierten Ansatz zur expliziten Analyse von Risiken, die traditionell oft durch intuitive Entscheidungen und Daumenregeln abgedeckt wurden. Das zentrale Ziel des Artikels ist es, ein probabilistisches Modell der Rendite vorzustellen, das Geschäfts- und Finanzrisiken in die Analyse eines Immobilieninvestitionsvorschlags einbezieht. Hierzu stellt Pyhrr (1973, S. 48-49) Methoden zur Einschätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Modellvariablen vor und diskutiert die zukünftigen Anwendungen und Einschränkungen von Risikosimulationsmodellen für verschiedene Investoren im Immobilienbereich. Schliesslich thematisiert der Beitrag die Herausforderungen und zukünftigen Aussichten der Implementierung solcher Modelle im Immobiliensektor. Pyhrr (1973, S. 68-69) glaubt, dass die Akzeptanz und das Vertrauen in probabilistische

Modelle im Immobiliensektor wachsen werden, wenn deren Vorteile und die Notwendigkeit eines systematischen Ansatzes zur Entscheidungsfindung besser verstanden werden.

Kelliher & Mahoney (2000, S. 44-56) wenden MCS zur Verbesserung langfristiger Investitionsentscheidungen in der Immobilienbewertung an. In ihrer Arbeit zeigen sie, wie diese Methode genutzt werden kann, um Unsicherheiten in zukünftigen Geldfüssen zu modellieren und somit genauere und realistischere Bewertungsergebnisse zu erzielen. Sie betonen, dass traditionelle statische Modelle oft die Volatilität und das Risiko zukünftiger Zahlungsströme unterschätzen, und argumentieren, dass die Berücksichtigung von Unsicherheiten zu fundierteren Investitionsentscheidungen führt.

Li (2000, S. 68-92) erforscht, wie einfache Computeranwendungen die Vielseitigkeit von DCF-Methoden verbessern können. Seine Arbeit zeigt, dass durch die Anwendung von Computermodellen MCS angewendet werden kann und damit Unsicherheiten und Risiken besser modelliert werden können. Er betont, dass computergestützte Simulationen detailliertere und anpassungsfähigere Bewertungsmodelle ermöglichen, die den Anforderungen moderner Finanzanalysen gerecht werden

Die Integration von Unsicherheitsmanagement in Bewertungsmodelle wurde von French & Gabrielli (2005, S. 75-89) untersucht. Sie argumentieren, dass durch die Verwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen anstelle von Punktwerten in DCF-Modellen die Unsicherheit explizit berücksichtigt werden kann. Ihre Forschung zeigt, dass die zentrale Tendenz der Verteilung nahe am statischen Schätzwert liegt, die Verteilung selbst jedoch wichtige Informationen über das Risiko und die Unsicherheit der Bewertung liefert. Diese Erkenntnisse unterstreichen die Bedeutung der Darstellung von Unsicherheiten in Bewertungen. French & Gabrielli, (2004, S. 484-500) vertiefen ihre Arbeit und zeigen, wie Unsicherheiten in DCF-Modelle integriert werden können. Sie betonen, dass diese Unsicherheiten in den Eingabevariablen direkt zu Unsicherheiten in den Ergebnissen führen.

Hoesli et al. (2006, S. 102-122) entwickeln die Anwendung der MCS weiter, indem sie diese Methode zur Bewertung eines Immobilienportfolios verwenden. Sie nutzen die Adjusted Present Value (APV) Methode[3] und integrierten MCS, um die Unsicherheit der Bewertungseingaben zu berücksichtigen. Ein besonderer Fokus ihrer Arbeit liegt auf der

[3] Die Adjusted Present Value (APV) Methode ist eine Bewertungstechnik, die von Myers (1974, S. 1-25) eingeführt wurde. Sie wird zur Bewertung von Investitionsprojekten oder Unternehmen verwendet und berücksichtigt die Auswirkungen der Finanzierungspolitik, insbesondere der steuerlichen Vorteile der Fremdfinanzierung, separat von den operativen Zahlungsströmen des Projekts. Im Gegensatz zu traditionellen Methoden wie der Weighted Average Cost of Capital (WACC), trennt die APV-Methode die verschiedenen Komponenten der Kapitalstruktur und bewertet sie separat.

Modellierung des Diskontsatzes, der sich aus einem risikofreien Zinssatz und einer Risikoprämie zusammensetzt. Diese Prämie hängt von marktspezifischen und objektspezifischen Attributen ab. Ihr Modell zeigt, dass die Erwartungswerte der Simulationen den hedonischen Bewertungen ähnlich sind, jedoch eine interessante Massnahme für die Darstellung der Risiken bieten.

Baroni et al. (2006, S. 1-27) vergleichen die Monte-Carlo-Simulation mit traditionellen DCF-Methoden bei der Bewertung von Immobilienportfolios. Ihre Forschung zeigt auf, dass MCS robustere Bewertungen ermöglichen, die weniger empfindlich auf Annahmen über das Wachstum der Zahlungsströme reagieren. Sie zeigen auch, dass Simulationen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Portfolio-Werte über verschiedene Zeithorizonte liefern können, was besonders nützlich für VaR-Berechnungen ist. Die Arbeit unterstreicht die Vorteile der MCS bei der Bewältigung von Unsicherheiten und der Bewertung von Investitionsrisiken. In einer weiteren Studie von Baroni et al. (2007, S. 1 462-486) wird die Integration von Mieten- und Preisdynamiken in die Bewertung von Immobilienportfolios untersucht. Ihre Forschung zeigt, dass durch die Modellierung dieser dynamischen Faktoren genauere und robustere Bewertungen erzielt werden können. Die Simulationen ermöglichen es, die zukünftigen Entwicklungen der Mieteinnahmen und Immobilienpreise besser abzuschätzen und die damit verbundenen Risiken zu quantifizieren. Der Beitrag betont die Bedeutung dynamischer Modelle, die Marktveränderungen und wirtschaftliche Schwankungen berücksichtigen.

French (2011, S. 312-322) beschäftigt sich mit der Unsicherheit von Bewertungen während eines wirtschaftlichen Abschwungs. Er betont, dass in Zeiten geringer Marktnachfrage und hoher Unsicherheit MCS eine wertvolle Methode zur Darstellung der Bewertungsunsicherheiten sei. Die Integration von Unsicherheitsanalysen in Bewertungsberichte könnte somit helfen, die Transparenz und das Verständnis für die zugrunde liegenden Risiken zu erhöhen.

2.3 Anwendung von Monte-Carlo-Simulationen in der Projektentwicklung

Atherton et al. (2008, S. 162-182) untersuchen in ihrem Beitrag die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Immobilienentwicklung und betonen dabei die Unsicherheit. Sie argumentieren, dass traditionelle Bewertungsmodelle oft die Unsicherheiten und Risiken in der Projektentwicklung nicht ausreichend berücksichtigen. Ihr Ansatz unterstreicht die Bedeutung, die zukünftigen Erwartungen und die damit verbundenen Unsicherheiten in die Bewertungsmodelle zu integrieren. Sie plädieren für die Nutzung der MCS, um diese Unsicherheiten zu modellieren und dadurch genauere und realistischere Bewertungs-

ergebnisse zu erzielen. In ihrer Arbeit beschrieben sie, wie MCS genutzt werden kann, um eine Bandbreite möglicher Ergebnisse und die Wahrscheinlichkeiten ihres Eintretens darzustellen. Dies ermöglicht es Entwicklern und Investoren, ein besseres Verständnis für die potenziellen Risiken und Chancen eines Projekts zu gewinnen. Die Autoren betonten, dass MCS als Werkzeug zur besseren Entscheidungsfindung dient, indem sie die Auswirkungen verschiedener Unsicherheiten auf die Projektergebnisse aufzeigt. Dadurch können fundiertere Entscheidungen getroffen werden, die die Risiken und Unsicherheiten angemessen berücksichtigen.

Gimpelevich (2011, S. 115-144) präsentiert ein simulationsbasiertes Überrenditemodell für die Immobilienentwicklung. Sein Ansatz nutzt MCS, um zukünftige Zahlungsströme zu prognostizieren und die Unsicherheiten in der Immobilienentwicklung besser abzubilden. Durch die Modellierung von Marktrisiken und Projektunsicherheiten kann gezeigt werden, dass die Berücksichtigung dieser Unsicherheiten in den Bewertungsmodellen zu realistischeren Renditeprognosen führt. Seine Forschung betont die Bedeutung der Berücksichtigung jener Unsicherheiten in den Modellen, um die Entscheidungsfindung bei Investitionen zu verbessern. Durch die Anwendung von MCS können die möglichen Auswirkungen von Marktveränderungen und anderen Unsicherheiten auf die Projektrenditen besser verstanden werden. Dies ermöglicht es Entwicklern und Investoren, fundiertere Entscheidungen zu treffen und das Risiko von Fehlentscheidungen zu verringern.

Schliesslich befassen sich Loizou & French (2012, S. 198-210) mit der Eignung von MCS als Werkzeug zur Risikoabschätzung in der Immobilienentwicklung. Ihre Arbeit ist in zwei Hauptsegmente unterteilt: Im ersten Segment wird die allgemeine Definition von Risiko und die Methodik von MCS als Werkzeug zur Risikobewertung untersucht. Im zweiten Segment wird die Angemessenheit der Nutzung von MCS zur Modellierung der Immobilienentwicklung erörtert, insbesondere angesichts der begrenzten Datenqualität und der Unfähigkeit, menschliche Beziehungen im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen. Sie zeigen, dass MCS hilft, die Unsicherheiten in den Eingabevariablen zu quantifizieren und die Auswirkungen dieser Unsicherheiten auf das Bewertungsergebnis zu verstehen. Die Autoren betonen, dass MCS als ergänzendes Modell verwendet werden sollte, um die Entscheidungsfindung zu unterstützen und die menschlichen Urteile und Entscheidungen zu berücksichtigen. Ihre Studie hebt hervor, dass die Simulation detaillierte Sensitivitätsanalysen ermöglicht und damit die Robustheit der entwickelten Modelle verbessert. Es wird argumentiert, dass MCS nicht nur quantitative Ergebnisse liefert, sondern auch in den Kontext heuristischer und kognitiver Ansätze der Entscheidungsträger

gestellt werden sollte. Sie betonen, dass das Verhalten der Entscheidungsträger genauso einflussreich ist wie die numerischen Ergebnisse selbst. Diese Perspektive zeigt, dass MCS ein wertvolles Werkzeug ist, das jedoch im Zusammenspiel mit menschlichem Urteilsvermögen und Entscheidungsfindung eingesetzt werden muss.

Ausserdem gibt es auch einige akademische Beiträge, die sich mit der Bewertung von Projektentwicklungen mit MCS und Realoptionen beschäftigen. So entwickeln Yeh & Lien (2020, S. 307-324) drei Modelle zur Bewertung des strategischen Werts des Wartens bei Immobilienentwicklungsprojekten. Das erste Modell nimmt an, dass das Verhältnis von Landkosten zu den gesamten Immobilienverkäufen in aufeinanderfolgenden Perioden unkorreliert ist, was eine zufällige Beziehung darstellt. Das zweite Modell geht von einem konstanten Verhältnis aus, das keine Veränderungen im Zeitverlauf impliziert. Das dritte Modell integriert beide vorherigen Modelle und verwendet einen Persistenzfaktor des Landwerts, der anzeigt, dass bei einem höheren Faktor die Landkosten stärker den vorherigen Landpreis widerspiegeln. Die Autoren nutzen eine hybride Methode, die das Binomial Options Pricing Model (BOPM)[4] und MCS kombiniert, um diese Modelle zu bewerten. Diese Kombination ermöglicht eine genauere Berücksichtigung der Komplexität des Immobilienmarktes. Die Methodik umfasst die Erstellung eines primären Binomialbaums für die gesamten Immobilienverkäufe und mehrerer untergeordneter Binomialbäume für die Landkosten. Diese werden kombiniert, um den Nettobarwert (NPV) der Projekterweiterung zu berechnen. Die Ergebnisse zeigen, dass fünf Schlüsselfaktoren den erwarteten Wert der Option beeinflussen: Die Wachstumsrate der Immobilienverkäufe, der Barwert der gesamten Immobilienverkäufe, die Verfallszeit, der Persistenzfaktor des Landwerts und der Barwert des Landes. Besonders wichtig ist der Persistenzfaktor des Landwerts, da er anzeigt, wie stark die Landkosten den vorherigen Preisen entsprechen. Diese Erkenntnisse unterstreichen die Bedeutung der Berücksichtigung dynamischer Marktbedingungen und Unsicherheiten bei der Bewertung von Immobilienentwicklungsprojekten.

Mintah et al. (2018, S. 101-116) untersuchen die Anwendung der Real Options-Bewertung (ROV) auf die Phasierung von Wohnbauprojekten und kombinierten diese mit MCS. Ihr Ziel ist es, die Unsicherheiten in Wohnbauprojekten besser zu berücksichtigen und die praktische Anwendbarkeit der Theorie zu demonstrieren. Sie verwenden die Fuzzy

[4] Das Binomial Options Pricing Model (BOPM) ist ein diskretes Bewertungsmodell, das zur Bewertung von Finanzderivaten, insbesondere Optionen, verwendet wird. Es wurde von Cox et al. (1979, S. 226-263) entwickelt und bietet eine flexible und intuitive Methode zur Bewertung von Optionen durch die Simulation möglicher Preisbewegungen eines Basiswerts über die Zeit.

Payoff Methode (FPOM)[5], ein Realoptions-Modell, das einen Szenarioplanungsansatz nutzt, um eine Reihe von Werten zu generieren, aus denen ein einzelner numerischer Wert für die Entscheidungsfindung berechnet wird. MCS wurde eingesetzt, um die Bandbreite möglicher Szenarien und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten zu modellieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung einer Reihe von Werten die Unsicherheiten genauer abbilden kann als das statische DCF. Durch die Phasierung der Entwicklung können unprofitable Phasen eines Projekts aufgegeben werden, was die Verluste begrenzt. Real-Options-Modelle seien praktisch auf Immobilienprojekte anwendbar und ermöglichten eine flexiblere und realistischere Bewertung. Ihre Studie zeigt auch, dass die FPOM etwa 3% des Projektwerts erfassen konnte, der vom DCF-Modell übersehen wurde. Dies unterstreicht die Bedeutung der Berücksichtigung von Flexibilität und Unsicherheit in der finanziellen Machbarkeitsbewertung von Immobilienprojekten.

[5] Die Fuzzy Payoff Methode (FPOM) ist eine Technik zur Bewertung von Investitionsprojekten, insbesondere im Bereich der Real Options Bewertung, bei der Unsicherheiten und Unsicherheitsfaktoren berücksichtigt werden. Diese Methode kombiniert Elemente der Fuzzy-Logik mit traditionellen Bewertungsansätzen, um eine flexiblere und realistischere Bewertung von Projekten zu ermöglichen, die mit Unsicherheit behaftet sind (vgl. Collan et al., 2009, S. 165-169).

3. Bewertungsmethodik und Begriffe

In diesem Kapitel wird die in dieser Arbeit zugrunde liegende Bewertungsmethodik erläutert. Zunächst werden die Begriffe Risiko und Unsicherheit definiert und deren Bedeutung im Bewertungsprozess herausgearbeitet. Anschliessend wird DCF als dynamisches Ertragswertverfahren vorgestellt. Schliesslich wird MCS als Instrument zur Modellierung und Analyse von Unsicherheiten und Risiken in der Bewertung von Immobilienprojekten beschrieben.

3.1 Risiko und Unsicherheit

Bevor Unsicherheit und Risiken im Bewertungsprozess untersucht werden, ist es wichtig, zu definieren, was mit den beiden Begriffen gemeint ist. Sowohl in der Literatur als auch in der Immobilienbranche werden die Begriffe Risiko und Unsicherheit oft synonym verwendet, was jedoch nicht ganz korrekt ist: Unsicherheit bezieht sich auf die Unkenntnis über zukünftige Ereignisse oder Zustände zum Bewertungszeitpunkt (French & Gabrielli, 2004, S. 485). In der Bewertung von Immobilienprojekten bedeutet dies, dass zukünftige Marktbedingungen, wirtschaftliche Entwicklungen und spezifische Eigenschaften der Immobilie nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden können. Risiko hingegen bezeichnet die Möglichkeit, dass tatsächliche Ergebnisse von den erwarteten abweichen. Risiken sind spezifischer und messbarer als Unsicherheiten und beziehen sich auf die Wahrscheinlichkeiten, mit denen bestimmte Ereignisse eintreten und die Bewertung beeinflussen (Sloman, 2006, S. 64). Der Hauptunterschied zwischen Unsicherheit und Risiko besteht demnach darin, dass Risiken quantifizierbar sind, während Unsicherheiten schwer zu messen und vorherzusagen sind. Risiko kann oft durch Wahrscheinlichkeiten und statistische Modelle bewertet werden, während Unsicherheit eher auf einer qualitativen Einschätzung basiert. Dieses Verständnis erlaubt das Aufzeigen und die Berücksichtigung der Risiken in Form eines Aufschlags im Diskontierungssatz (Byrne, 1984, S. 15). Es stellt sich nun die Frage, wie Risiken in der Bewertung dargestellt werden können.

Zu den gängigsten Methoden zur Auswertung von Risiken in der Bewertung von Immobilienprojekten zählen die Sensitivitätsanalyse, die Szenarioanalyse und stochastische Simulationen (Marty & Meins, 2015, S. 10-13). Die Sensitivitätsanalyse untersucht, wie Änderungen in den Annahmen und Eingangsgrössen die Bewertungsergebnisse beeinflussen. Durch die Variation einzelner Faktoren wie Mietpreise, Diskontierungssätzen oder Baukosten können Auswirkungen auf den Immobilienwert abgeschätzt, und die kritischsten Faktoren identifiziert werden. So kann beispielsweise untersucht werden, wie

sich eine Erhöhung oder Senkung des Diskontierungssatzes auf den Immobilienwert auswirkt.

Bei der Szenarioanalyse werden mehrere zukünftige Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Kombinationen von Annahmen und externen Faktoren berücksichtigen. Diese Szenarien reichen von pessimistischen bis zu optimistischen Annahmen und helfen, die Bandbreite möglicher Bewertungsergebnisse zu verstehen. Die aus den unterschiedlichen Szenarien resultierenden Bewertungen werden mit der Eintretenswahrscheinlichkeit gewichtet und so zu einem Erwartungswert aggregiert.

Schliesslich modellieren stochastische Ansätze die Unsicherheit als Verteilung der Eingabeparameter, die dann beispielsweise in einem DCF-Modell verwendet werden, um zahlreiche mögliche Zukunftsszenarien zu simulieren und die Verteilung der Bewertungsergebnisse zu analysieren (Marty & Meins, 2015, S. 10-11).

3.2 Discounted-Cashflow-Methode

Die DCF-Methode ist ein dynamisches Ertragswertverfahren zur Bewertung von Investitionsvorhaben, wie beispielsweise Immobilienentwicklungsprojekte (SVKG, 2019, S. 158). Die Methode basiert auf der Diskontierung zukünftiger Zahlungsströme, wobei die Einnahmen und Ausgaben des Entwicklungsprojekts über den Betrachtungszeitraum hinweg berücksichtigt werden und diese dynamisch abbildet (Fierz, 2011, S. 153-154). In Bezug auf den Betrachtungszeitraum kann dabei zwischen dem 1-Phasen und dem 2-Phasen-Modell unterschieden werden.

Beim 1-Phasen-Modell werden die Zahlungsströme des Projekts während der gesamten Lebensdauer der Immobilie dynamisch abgebildet. Entsprechend werden die Einnahmen und Ausgaben sowohl in der Projektphase als auch in der Nutzungsphase prognostiziert, verrechnet und die resultierenden Zahlungsüberschüsse (FCF) diskontiert und addiert. Da eine Immobilie üblicherweise eine sehr lange Lebensdauer aufweist, besteht die Herausforderung bei dieser Variante darin, verlässliche Prognosen der Zahlungsströme auch in weiter Zukunft zu machen (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 365). Hier setzt das 2-Phasen-Modell an.

Das 2-Phasen-Modell ist in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase werden die erwarteten Zahlungsströme für einen festgelegten Zeitraum (Planungszeitraum, typischerweise 5 bis 20 Jahre) detailliert und dynamisch prognostiziert. In der zweiten Phase wird ein Restwert (RW) berechnet, der den Wert der Immobilie am Ende der ersten Phase darstellt

und alle zukünftigen Zahlungsströme zusammenfasst.[6] Diese Zahlungsströme werden dann diskontiert, um den Gesamtwert der Immobilie zu bestimmen (SVKG, 2019, S. 159). In den folgenden Ausführungen wird auf das 2-Phasen-Modell eingegangen, da dieses Modell für die weitere Analyse herangezogen wird.

Der Barwert (BW) des Immobilienprojekts zum heutigen Zeitpunkt (*t = 0*) setzt sich in der grundlegenden Formel der DCF-Methode mit *n* Planungsperioden aus der Summe der mit dem realen Diskontierungssatz r abgezinsten Zahlungsüberschüsse (FCF) und dem abgezinsten Restwert (RW) zusammen:

$$BW = \sum_{t=0}^{n} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} + \frac{RW_n}{(1+r)^n} \tag{1}$$

Die Zahlungsüberschüsse (FCF) im Jahr t setzen sich aus Einnahmen und Ausgaben zusammen:

$$FCF_t = \underbrace{ME_t * (1 - lz_t) + UE_t}_{Einnahmen} - \underbrace{EK_t - BK_t - IH_t - IS_t - UK_t}_{Ausgaben} \tag{2}$$

Dabei entspricht ME_t dem Mietertrag (Soll), der um die Leerstandsziffer lz_t reduziert wird. Weiter stellt UE_t die übrigen Erträge, EK_t die Erstellungskosten, BK_t die Betriebskosten, IH_t die Instandhaltungskosten, IS_t die Instandsetzungskosten und UK_t die übrigen Kosten zum Zeitpunkt *t* dar.

Dabei gilt, dass:

$$ME_t = ME_{t-1} * (1 + gm_t) \tag{3}$$

Der Mietertrag der Vorjahresperiode, ME_{t-1} wächst mit der Wachstumsrate gm_t. Im ersten Jahr, in dem Mieterträge anfallen, entspricht ME_t dem Angebotsmietertrag AM_t.

Der Restwert (RW) im Jahr *n* entspricht im 2-Phasen-Modell der statischen Komponente und wird bei einer angenommenen unendlichen Lebensdauer der Liegenschaft mit der Formel gemäss Gordon-Growth-Modell berechnet (Gordon, 1959, S. 103):

$$RW_n = \frac{FCF_{t+1}}{r - g} \tag{4}$$

[6] Das 2-Phasen-Modell hat den Vorteil, dass es im Vergleich zum 1-Phasen-Modell aufgrund des kürzeren Planungszeitraums und der anschliessenden Anwendung des RW übersichtlicher ist.

wobei g die Wachstumsrate ist, mit der die Zahlungsüberschüsse FCF_{t+1} jährlich wachsen. Die Wachstumsrate bildet sich aus der Inflation und einer Indexierung, wobei die Indexierung dem Anteil der Inflation entspricht, der an die Mieter weitergegeben werden kann. Der Ausdruck $(r - g)$ ist demzufolge der Nettokapitalisierungssatz.

Da eine Immobilie eine endliche Lebensdauer hat, ist die Annahme unendlicher Zahlungsströme zweifelhaft. Es liegt demzufolge nahe für den Restwert (RW) anstelle der Perpetuität (Formel (4), S. 19) die Formel für die Annuität mit T Jahren heranzuziehen (Spremann, 2004, S. 55-56):

$$RW_n = FCF_{t+1} * \frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+r}\right)^{T-t}}{r - g} \tag{5}$$

Für die Bestimmung des Diskontierungssatz r unterscheidet die Literatur und Praxis zwischen analytischen und synthetischen Modellklassen (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 354). Zu den analytischen Zinssatzmodellen gehört die Vergleichswertmethode, bei der die Diskontierungssätze empirisch, aufgrund vergleichbarer Liegenschaften, ermittelt werden. Diese Methode birgt jedoch die Herausforderung, dass häufig zu wenig Vergleichsdaten vorliegen. Die Verzinsung des Fremd- und Eigenkapitals ist eine Methode, die zu den synthetischen Modellen zählt. Dabei wird als Diskontierungssatz der gewichtete durchschnittliche Zinssatz für Fremd- und Eigenkapital (WACC) verwendet. Hier besteht allerdings ein Zirkularitätsproblem, denn für die Herleitung des WACC wird der Wert des Entwicklungsprojekts benötigt und genau diesen Wert soll das DCF-Modell bestimmen (Hoesli et al., 2006, S. 103). Ebenfalls zu den synthetischen Methoden zählt das Konzept der Opportunitätskosten. Ausgehend von der Verzinsung risikoloser Anlagen werden diverse Zuschläge für Markt- und Objektaspekte addiert (SVKG, 2019, S. 137)). Für die folgenden Analysen wird auf diesen Ansatz zurückgegriffen, da er sehr transparent und am weitesten verbreitet ist (Fahrländer & Kloess, 2023. S. 355):

$$r = r_{f,t} + RP \tag{6}$$

wobei $r_{f,t}$ der Verzinsung einer risikolosen Anlage entspricht und den Investor für den Zeitwert des Geldes kompensiert, da er jemand anderem sein Geld für eine bestimmte Zeit zur Verfügung stellt. RP stellt die Risikozuschläge dar, die ein Investor als Entschädigung erwartet, dass er in ein Entwicklungsprojekt mit erwarteten Zahlungsströmen investiert, die einem Risiko unterliegen. (Geltner et al., 2014, S. 189). Von der Risikoprämie zu unterscheiden ist die in Kapitel 1.2.2 beschriebene Sicherheitsmarge, die als Puffer

für unvorhergesehene Ereignisse aufgrund der inhärenten Unsicherheiten der Eingabeparameter in der Bewertung von Entwicklungsprojekten dient. Die adäquate Berücksichtigung und Beurteilung dieser Unsicherheiten ist Hauptbestandteil der vorliegenden Arbeit.

3.3 Monte-Carlo-Simulation

Die Monte-Carlo-Methode wurde in den 1930er Jahren von namhaften Wissenschaftlern wie Enrico Fermi, John von Neumann und Stanislaw Ulam entwickelt (Hofstadler & Kummer, 2017, S. 192). Fermi nutzte diese Technik zur Berechnung der Neutronendiffusion, während von Neumann und Ulam die mathematischen Grundlagen für Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen legten (Fishman, 1997, S. 1-4). Der Name leitet sich dabei vom berühmten Casino in Monaco ab, da die Methode Zufall und Wahrscheinlichkeiten nutzt, ähnlich wie bei Glücksspielen (Lorenz et al., 2006, S. 405). Später fand die MCS Anwendung in verschiedenen Bereichen wie der Atombombe, Medizin, Chemie, Astronomie und Landwirtschaft (Fishman, 1997, S. 1-4). Es war schliesslich Hertz (1964, S. 95-106), der als erster MCS im Finanzwesen zur Anwendung von Investitionsanalysen vorschlug. In der Immobilienforschung verwendete Pyhrr (1973, S. 101-116) Simulationen, um Unsicherheiten bei der Investitionsprognose zu analysieren.

Es handelt sich bei MCS um eine mathematische Methode, die verwendet wird, um Unsicherheiten und Risiken in verschiedenen Bereichen zu modellieren und zu analysieren (Fishman, 1997, S. 1). Die Methode basiert auf der Durchführung von Zufallsexperimenten und der Verwendung von Zufallszahlen, um die möglichen Ergebnisse eines Modells zu simulieren (Hofstadler & Kummer, 2017, S. 191). Nach der Definition des Modells, folgt die Identifikation der unsicheren Eingabeparameter. Jeder dieser Parameter wird durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben, die die Unsicherheit und die möglichen Werte dieser Parameter widerspiegelt. Die Wahl der Verteilung hängt von der Natur der jeweiligen Parameter ab und umfasst unter anderem Normalverteilungen, triangulär Verteilungen, uniforme Verteilungen, lognormale Verteilungen und Beta-Verteilungen.

Anschliessend wird die Simulation durch die Generierung von Zufallszahlen für jeden Parameter durchgeführt. Diese Zufallszahlen werden in das Modell eingesetzt, um eine mögliche Realisierung der zukünftigen Geldflüsse und des Wertes des Immobilienprojekts zu berechnen. Dieser Prozess wird viele tausend Mal wiederholt, um eine grosse Anzahl von möglichen Ergebnissen zu erzeugen. Durch die Analyse dieser Ergebnisse kann man die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zukünftigen Werte des Projekts bestimmen.

4. Modellspezifikation

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Annahmen des Modells sowie die stochastischen und deterministischen Variablen beschrieben, die für die Simulation und Bewertung der Immobilienprojekten mit MCS verwendet werden

4.1 Grundlegende Annahmen

Für die Analyse wird ein 2-Phasen-Modell gewählt. In der ersten Phase, dem Planungszeitraum, werden die erwarteten Zahlungsströme detailliert und dynamisch über einen Zeitraum von zehn Jahren prognostiziert. Diese Phase umfasst die Entwicklungs- und Anfangsphase der Nutzung des Immobilienprojekts, in der die Einnahmen und Ausgaben häufigeren Schwankungen unterliegen. Am Ende des Planungszeitraums wird ein Restwert berechnet, der den Wert der Immobilie nach Ablauf der ersten Phase darstellt. Diese Restwertphase dauert 90 Jahre und fasst alle zukünftigen Zahlungsströme zusammen, die auf den Bewertungszeitpunkt abgezinst werden. Diese Phase repräsentiert die langfristige Nutzung der Immobilie, in der die Zahlungsströme stabiler sind. Das 2-Phasen-Modell ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen Risiken und Unsicherheiten in den verschiedenen Lebenszyklen des Immobilienprojekts und erlaubt eine präzisere Modellierung der Zahlungsströme und deren Diskontierung.

Die zur Verfügung gestellten Bewertungen basieren auf preisbereinigten Daten. Das bedeutet, dass alle finanziellen Grössen in realen Werten dargestellt werden, um Inflationseffekte zu eliminieren. Damit die Vergleichbarkeit sichergestellt ist, erfolgt die vorliegende Analyse daher auch anhand realer Werte. Da das Mietertragwachstum insbesondere bei Mietwohnungen direkt und indirekt über den Referenzzinssatz in einem hohen Mass mit der Inflation zusammenhängt, bedeutet dies, dass es keine erwarteten inflationsbedingten Anpassungen der Mieterträge gibt. Unter diesen Bedingungen wird das Wachstum g für die Berechnung des Restwerts (Formel (5), Seite 20) ebenfalls null sein.

Im Gegensatz zu den zur Verfügung gestellten Bewertungen, bei denen der Diskontsatz über den gesamten Betrachtungszeitraum fix ist, wird in der vorliegenden Analyse ein variabler Diskontsatz verwendet. Diese Anpassung des Diskontsatzes an die möglichen Änderungen während der Nutzungsdauer gewährleistet eine realistischere Bewertung, da sie die unterschiedlichen wirtschaftlichen Bedingungen und Unsicherheiten über die Lebensdauer des Projekts berücksichtigen.

Bei den vorliegenden Immobilienprojekten handelt es sich um Entwicklungen von Anlagestiftungen. Vermögenswerte, welche ausschliesslich der beruflichen Vorsorge dienen,

also auch Anlagestiftungsvermögen, sind von der direkten Steuer befreit. Entsprechend werden die unterschiedlichen Finanzierungsstrukturen, der Leverage und dessen Einfluss auf den Tax-Shield nicht berücksichtigt, da dieser für einen steuerbefreiten Investor ohnehin gleich null ist.

4.2 Festlegung der stochastischen und deterministischen Variablen

Die Selektion der stochastischen Variablen, also der Inputvariablen, die simuliert werden, erfolgt nach sorgfältiger Berücksichtigung ihrer Relevanz und ihres Einflusses auf das gesamte Immobilienprojekt. Diese Variablen repräsentieren die Hauptmerkmale des Projekts, die durch externe Einflüsse und interne Dynamiken beeinflusst werden. Die deterministischen Variablen hingegen sind als Punktschätzungen definiert und nehmen entsprechend nur einen einzigen Wert an.

Der Mietertrag ist eine zentrale Grösse bei der Bewertung einer Projektentwicklung. Er hängt massgeblich von der Angebotsmiete ab, welche die Basis für zukünftige Einnahmen bildet. Diese kann durch das Mietpreiswachstum beeinflusst werden, das wiederum von Faktoren wie Inflation, Nachfrage und dem allgemeinen Marktumfeld bestimmt wird. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Leerstandsziffer, die den Anteil der unvermieteten Flächen an der gesamten Immobilie angibt. Ein höherer Leerstand bedeutet geringere Einnahmen, was die Rentabilität der Immobilie mindert. Diese Variablen werden als stochastische Variablen behandelt. Da die übrigen Einnahmen in den meisten Fällen keinen signifikanten Wert aufweisen, werden sie als deterministische Variablen definiert.

Der grösste Ausgabenanteil für eine Projektentwicklung, bei Betrachtung der gesamten Lebensdauer der Immobilie, entfällt auf die Erstellungskosten und die Instandsetzungskosten. Obwohl Instandsetzungskosten nur sporadisch anfallen, haben sie aufgrund ihrer Höhe ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtaufwendungen. Da in der frühen Phase des Bauprojekts noch grosse Unsicherheiten bezüglich dieser Kosten bestehen, werden diese Variablen als stochastische Variablen in die Analyse einbezogen. Die Betriebskosten und Instandhaltungskosten werden häufig als Prozentsatz der Erträge festgelegt (SVKG, 2019, S. 134) und basieren auf zuverlässigen Erfahrungswerten, weshalb sie als deterministische Variablen behandelt werden. Übrige Kosten spielen üblicherweise keine grosse Rolle und fliessen daher ebenfalls als deterministische Variablen in die Analyse ein.

Der Diskontsatz ist eine weitere wichtige stochastische Variable. Ein höherer Diskontsatz reduziert den Barwert zukünftiger Erträge erheblich und beeinflusst somit die Bewertung

der Immobilie massgeblich. Verzögerungen bei Bau- und Instandsetzungsarbeiten können ebenfalls erhebliche Auswirkungen auf die Bewertung des Immobilienprojekts haben, da durch die Verzögerungen die Erträge später anfallen und damit der Barwert sinkt. Daher wird auch diese Grösse als stochastische Variable behandelt.

4.2.1 Angebotsmieten und Mietpreiswachstum

In der akademischen Literatur werden verschiedene Methoden zur Modellierung der Unsicherheit in Bezug auf die Mietzuflüsse vorgeschlagen. Diese Unsicherheiten können aus dem Wissen des Bewerters (Wofford, 1978, S. 374; French & Gabrielli, 2005, S. 83) in Form einer Dreiecksverteilung, aus historischen Daten (Hoesli et al., 2006, S. 111-112) als Normalverteilung oder als simulierte Mietpreisentwicklung anhand eines dynamischen Prozesses (Baroni et al., 2007, S. 372-376) geschätzt werden.

In der vorliegenden Analyse wird die Qualität der Einschätzung zu den Angebotsmieten und zu dem Mietpreiswachstum des Bewerters höher eingestuft als die Ableitung aus historischen Daten. Im Bewertungsgutachten werden diverse Informationen zu den kleinräumigen Eigenschaften verarbeitet, die eine präzisere Einschätzung des Mietertragspotentials erlauben. Würde ausschliesslich auf historische Daten abgestellt, gingen diese Informationen tendenziell verloren. Entsprechend werden die Angebotsmieten und das Mietpreiswachstum aus dem Bewertungsbericht als Erwartungswerte definiert. Da unterstellt wird, dass die Angebotsmieten und das Mietpreiswachstum um den Erwartungswert höheren Eintretenswahrscheinlichkeiten haben (French & Gabrielli, 2004, S. 493), wird eine Normalverteilung der Dreiecksverteilung vorgezogen. Die Standardabweichung der Normalverteilung wird aufgrund historischer Daten abgeleitet.

4.2.2 Leerstandsziffer

Auch für die Leerstandsziffer wird die Einschätzung des Bewerters gegenüber der Verwendung historischer Daten bevorzugt. Dies liegt daran, dass die vom BFS publizierten Leerstandzahlen nicht spezifisch auf die üblicherweise gestaffelte Absorption der Flächen im Zuge eines Neubaus eingehen: Während der Bauphase sind die Flächen in der Regel vollständig leerstehend. Während der Vorvermietungs- und Fertigstellungsphase nimmt der Leerstand kontinuierlich ab und pendelt sich letztendlich in der Stabilisierungsphase beim Sockelleerstand ein. Bei der Verwendung der BFS-Daten würden damit die Ertragsausfälle, insbesondere bis zur Stabilisierungsphase, zu niedrig angesetzt werden. Die Erwartungswerte über alle Phasen hinweg entsprechen demzufolge der Einschätzung des Bewerters. Da die Leerstandsziffer nur Werte im Intervall $[0, 1]$ annehmen kann und Werte nahe 0 wahrscheinlicher sind, wird für die Verteilung eine Beta-Verteilung

gewählt. Die Standardabweichung wird anhand historischer Daten abgeleitet und die Parameter α_t und β_t der Beta-Verteilung werden jeweils auf Basis dieser Standardabweichung und des Erwartungswerts zum Zeitpunkt t berechnet.

4.2.3 Projektierungskosten, Baukosten und Instandsetzungskosten

Da für die Projektierungs-, Bau- und Instandsetzungskosten keine historischen Daten vorliegen, die alle Spezifikationen des spezifischen Bauprojekts genügend abbilden, wird auch hier für den Erwartungswert auf die Einschätzung des Bewertungsexperten abgestellt und eine trunkierte Normalverteilung gewählt. Das Minimum und das Maximum leiten sich aus den Baukostengenauigkeiten im Projektverlauf gemäss Fahrländer & Kloess (2023, S. 563) ab: Nach der Vertiefung des Bauprojektes beträgt die Kostengenauigkeit ±20%. Für die Projektierungs- und Baukosten werden diese Werte als Minimum unter und Maximum über dem Erwartungswert übernommen und die Standardabweichung auf 5% festgelegt.

Bei Instandsetzungen sind die grundlegenden Strukturen bereits vorhanden. Es gibt weniger Variabilität in Bezug auf den Bauprozess und die verwendeten Materialien im Vergleich zu einem Neubau, wo viele verschiedene Entscheidungen (z.B. Design, Materialien, Bauweise) die Kosten beeinflussen können. Daher wird das Minimum auf 10% unterhalb des Erwartungswertes und das Maximum auf 10% darüber festgelegt. Die Standardabweichung beträgt 2.5%.

4.2.4 Risikoloser Zinssatz

Die Simulation des risikolosen nominalen Zinssatzes $r_{f,t}^{nom}$ erfolgt mittels des Vasicek-Modells, das 1977 vom Mathematiker Oldřich Vasicek entwickelt wurde (Vasicek, 1977, S. 177-188). Dieses Modell zur Beschreibung der Dynamik des Momentanzinses ist, neben dem Cox-Ingersoll-Ross (CIR) Modell (Cox et al., 1985, S. 385-470), eines der am weitesten verbreiteten Zinsmodelle. Im Gegensatz zum CIR-Modell lässt das Vasicek-Modell aufgrund der Normalverteilung des Zinssatzes auch negative Zinssätze zu (Benninga & Wiener, 1998, S. 5-6), was in der Schweiz in den letzten Jahren auch tatsächlich beobachtet werden konnte. Das Modell enthält zwei zentrale Komponenten: Der Drift und die Diffusion. Der Zinssatz wird durch einen Ornstein-Uhlenbeck stochastischen Prozess, welcher oft zur Modellierung von Mean-Reversion-Verhalten verwendet wird, beschrieben (Vasicek, 1977, S. 185):

$$dr_{f,t} = \underbrace{a(b - r_{f,t})dt}_{Drift} + \underbrace{\sigma dW_t}_{Diffusion} \tag{7}$$

Hierbei steht $r_{f,t}$ für den risikolosen Zinssatz zur Zeit t, a für den Mean Reversion Speed, b für das Mean Reversion Level, σ für die Volatilität, und W_t ist ein Wiener Prozess, der die zufälligen Schwankungen beschreibt und dt das Zeitintervall.

Der Driftterm $a(b - r_{f,t})dt$ beschreibt die deterministische Tendenz des Zinssatzes, in Richtung des langfristigen Mittelwerts b zurückzukehren. Dieser Effekt wird durch den Parameter a gesteuert, der die Geschwindigkeit der Rückkehr zum Mittelwert bestimmt. Wenn der aktuelle Zinssatz $r_{f,t}$ über dem Mittelwert b liegt, wird der Drift negativ, was bedeutet, dass der Zinssatz dazu neigt, mit Geschwindigkeit a zu fallen. Liegt der aktuelle Zinssatz hingegen unter dem Mittelwert, wird der Drift positiv, was den Zinssatz steigen lässt. Dies sorgt dafür, dass der Zinssatz über die Zeit um den Mittelwert schwankt, anstatt unbegrenzt zu steigen oder zu fallen.

Die Diffusion repräsentiert das zufällige Marktrisiko und ist durch einen Wiener Prozess W_t und die Volatilität σ charakterisiert. Der Wiener Prozess ist ein mathematisches Modell für die brownsche Bewegung und wird häufig verwendet, um die zufälligen Schwankungen in Finanzmodellen zu beschreiben (Hull, 2012, S. 282-286; Dixit & Pindyck, 1994, S. 63-65). Im Kontext des Vasicek-Modells steuert er die zufälligen Schwankungen des Zinssatzes. Der Term dW_t repräsentiert diese zufälligen Schwankungen, wobei σ die Stärke dieser Schwankungen angibt.

Der Wiener Prozess beginnt normalerweise bei 0, die Zuwächse sind unabhängig und für jedes Zeitintervall ist die Veränderung normalverteilt mit einem Erwartungswert von 0 und einer Varianz proportional zur Zeit:

$$dW_t = W(t + dt) - W(t) \sim N(0, dt) \tag{8}$$

Entsprechend gilt:

$$dW_t = \sqrt{dt} Z_t \tag{9}$$

wobei Z_t eine Zufallsvariable darstellt, die einer Standardnormalverteilung ($Z_t \sim N(0,1)$) folgt. Entsprechend kann die diskrete Form der Vasicek-Differentialgleichung wie folgt geschrieben werden:

$$r_{f,t+dt} = r_{f,t} + a(b - r_{f,t})dt + \sigma\sqrt{dt} Z_t \tag{10}$$

Da die Zahlungsströme in den Bewertungen preisbereinigt sind, müssen ausgehend von nominalen Zinssätzen $r_{f,t}^{nom}$ reale Zinsen $r_{f,t}$ simuliert werden. Um den Einfluss der

Inflation auf den nominalen Zinssatz zu berücksichtigen, wird die Formel (10) für die Kalibrierung der Parameter a, b und σ um einen Inflationsterm erweitert:

$$r_{f,t+dt}^{nom} = r_{f,t}^{nom} + a\left(b - r_{f,t}^{nom}\right)dt + \gamma_{inflation} * \pi_{t-V} + \sigma\sqrt{dt}Z_t \tag{11}$$

Wobei $\gamma_{inflation}$ der Koeffizient, der die Empfindlichkeit des Zinssatzes gegenüber der Inflation und π_{t-V} die Inflationsrate zum Zeitpunkt $t - V$ beschreibt. Da Marktteilnehmer und auch Nationalbanken üblicherweise Zeit benötigen, um ihre Erwartung an die Inflation anzupassen, reagieren die Zinsen mit einer gewissen Verzögerung V auf die Inflation (Fisher, 2012, S 429-432). Die Parameter a, b und σ werden damit so kalibriert, dass sie die Dynamik der realen Zinssätze beschreiben.

Die Simulation folgt nach der Kalibrierung anhand der Formel (10). Zu Beginn $t = 0$ nimmt der reale Zins $r_{f,t}$ den Anfangswert $r_{f,0}$ an. Die Entwicklung des Zinses ist normalverteilt. Die Umrechnung des nominalen Zinses zum Zeitpunkt $t = 0$ in den realen Zins erfolgt mittels der Fisher-Gleichung (Fisher, 2012, S 417-421):

$$r_{f,0} = \frac{1 + r_{f,0}^{nom}}{1 + \pi_{0-V}} - 1 \tag{12}$$

4.2.5 Risikoprämie

Analog Hoesli et al. (2006, S. 108-109) und Fahrländer & Kloess (2023, S. 357-363) setzt sich die Risikoprämie aus zwei Komponenten zusammen:

$$RP = RP_1 + RP_2 \tag{13}$$

wobei RP_1 die immobilienspezifische Risikoprämie und RP_2 die objektspezifische Risikoprämie darstellt.

Die immobilienmarktspezifische Risikoprämie RP_1 bezieht sich auf die Risiken, die durch allgemeine Marktbedingungen und makroökonomische Faktoren beeinflusst werden. Dazu gehören wirtschaftliche Entwicklungen wie Wachstum oder Rezession, Inflationsraten und die allgemeine Nachfrage- und Angebotslage im Immobilienmarkt. Auch politische und regulatorische Einflüsse, wie neue Gesetze oder Steuerregelungen sowie die Illiquidität der Anlageklasse Immobilien spielen eine Rolle. Sie spiegelt somit die Unsicherheiten wider, die den gesamten Immobilienmarkt betreffen und nicht spezifisch für einzelne Objekte sind. Die Risikoprämie fliesst als stochastische Variable mit einer trunkierten Normalverteilung in die Analyse ein. Die detaillierten Parameter der Verteilung sind in Kapitel 5.3.4 ersichtlich.

Die objektspezifische Risikoprämie RP_2 hingegen konzentriert sich auf die Risiken, die mit den individuellen Eigenschaften einer bestimmten Immobilie verbunden sind. Hierzu zählen die Makro- und Mikrolage, die Nutzbarkeit, der Standard, der Zustand sowie die Nutzung der Immobilie:

$$RP_2 = RP_2^{Makro} + RP_2^{Mikro} + RP_2^{Nutzung} \tag{14}$$

wobei RP_2^{Makro} dem Risikozuschlag für das Makrolagenrating, RP_2^{Mikro} dem Risikozuschlag für das gewichtete Rating aus Mikrolage, Nutzbarkeit, Standard sowie Zustand und $RP_2^{Nutzung}$ der Nutzungsart der Immobile entspricht. Für die Eigenschaften Makrolage und Mikrolage liegen aus den Bewertungen jeweils Ratings zwischen 1 und 5 vor, wobei 1 das beste und 5 das schlechteste Rating ist. Aus diesen Ratings erfolgt in Anlehnung an Hoesli et al. (2006, S. 114) eine Berechnung des Zuschlags anhand einer linearen Umrechnung.

Das Makrolagenrating RP_2^{Makro} nimmt Werte im Bereich 1 bis 5 an, wobei 1 eine sehr gute und 5 eine sehr schlechte Lage repräsentiert. Der Zusammenhang zwischen dem Risikozuschlag und dem Rating für die Makrolage ist folglich positiv: Je niedriger das Rating, desto besser die Makrolage und desto geringer der Risikozuschlag. Es wird unterstellt, dass die Zuschläge für das Makrolagenrating B_2^{Makro} im Wertebereich von 0.0% bis 1.8% liegen (SIREA, 2019, S. 22-25). Es resultiert folgender Zusammenhang:

$$RP_2^{Makro} = -0.45\% + 0.45\% * B_2^{Makro} \tag{15}$$

Liegt beispielsweise ein Immobilienprojekt in einer Gemeinde mit einem Rating von 2 (gut), ergibt sich ein Zuschlag von 0.45%. Da sich die Makrolage im Laufe der Zeit nur geringfügig oder gar nicht verändern dürfte, wird dieser Zuschlag als deterministische Variable in die Analyse einbezogen.

Das Mikrolagen- und Objektrating RP_2^{Mikro} nimmt Werte zwischen 0.0% und 1.0% (SIREA, 2019, S. 25-28), wobei ein linearer Zusammenhang zwischen dem gewichteten Rating für die Mikrolage, der Nutzbarkeit, dem Standard sowie dem Zustand des Objekts und dem Zuschlag angenommen wird:

$$RP_2^{Mikro} = -0.25\% + 0.25\% * B_2^{Mikro} \tag{16}$$

Wobei:

$$B_2^{Mikro} = 0.3 * B_{Mikrolage} + 0.2 * B_{Nutzbarkeit} + 0.3 * B_{Standard} + 0.2 * B_{Zustand} \tag{17}$$

Für ein Immobilienprojekt mit einem guten Mikrolagen- und Objektrating von 2 resultiert demnach ein Zuschlag von 0.25%. Auch dieser Zuschlag nimmt in der Analyse einen festen Wert an und fliesst damit als deterministische Variable in das Modell ein.

Da unterschiedliche Nutzungsarten unterschiedliche Risiken aufweisen, wird in Abhängigkeit der Nutzungsart der Liegenschaft einen Zuschlag $RP_2^{Nutzung}$ erhoben. Dieser Zuschlag ist abgeleitet von der möglichen Anzahl der Nutzer im Einzugsgebiet der Liegenschaft, dem Ausfallrisiko der Nutzer und der Umnutzungsmöglichkeit. Die Population potenzieller Nutzer von Wohnimmobilien ist am grössten. Somit ist das Nutzungsrisiko bei dieser Nutzungsart am kleinsten und weist eine Bandbreite von 0.00% bis 0.05% auf (SIREA, 2019, S. 29). Die in der Analyse verwendeten Bewertungen beziehen sich alle auf vorwiegend auf die Nutzungsart Wohnen, weshalb nur diese Bandbreite der Zuschläge zur Anwendung gelangt.

4.2.6 Bauverzögerungen

Jedes Immobilienprojekt unterliegt einem Bewilligungsrisiko, das zu Verzögerungen führen kann (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 556). Verzögerungen sind in der Analyse als Differenz der Dauer in Jahren zwischen der minimalen Bewilligungsdauer $D_{minimal}$ aufgrund administrativer Prozesse und Verfahren und der effektiven Bewilligungsdauer $D_{effektiv}$ definiert.

$$D = D_{effektiv} - D_{minimal} \tag{18}$$

Um die Standardformel der DCF-Methode (Formel (1) Seite 19) für Projektentwicklungen so zu modifizieren, dass Verzögerungen aufgrund von beispielsweise Einsprachen modelliert werden können, müssen zusätzliche Parameter eingeführt werden. Diese Parameter berücksichtigen die Verzögerungsdauer und die Auswirkungen auf die Zahlungsströme:

$$BW = \underbrace{\sum_{t=0}^{P} \frac{PC_t}{(1+r)^t}}_{Projektierungsphase} + \overbrace{\sum_{t=P+1}^{P+D} \frac{FCF_t^{VP}}{(1+r)^t}}^{Verzögerungsphase} + \underbrace{\sum_{t=P+D+1}^{P+D+n} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} + \frac{RW_n}{(1+r)^{P+D+n}}}_{Erstellungs- \text{ und } Nutzungsphase} \tag{19}$$

Wobei PC_t die Projektierungskosten zum Zeitpunkt t, FCF_t^{VP} die Zahlungsströme in der Verzögerungsphase, FCF_t die Zahlungsströme in der Erstellungs- und Nutzungsphase, RW_n den Restwert zum Zeitpunkt n, P die Anzahl der Jahre der Projektierungsphase, D die Anzahl der Jahre der Verzögerung und r den realen Diskontierungssatz darstellen.

In Abwesenheit von Finanzierungskosten entstehen in der Verzögerungsphase üblicherweise keine Zahlungsflüsse ($FCF_t^{VP} = 0$). Daher entspricht das Resultat des Ausdrucks der Verzögerungsphase 0. Die Formel kann entsprechend abgekürzt werden:

$$BW = \underbrace{\sum_{t=0}^{P} \frac{PC_t}{(1+r_t)^t}}_{Projektierungsphase} + \underbrace{\sum_{t=P+D+1}^{P+D+n} \frac{FCF_t}{(1+r_t)^t} + \frac{RW_n}{(1+r_{P+D+n})^{P+D+n}}}_{Erstellungs- \text{ und } Nutzungsphase} \tag{20}$$

Die Zahlungsströme in der Erstellungs- und Nutzungsphase FCF_t fallen ein Jahr nach der Projektierungsphase P und der Verzögerungsphase D an, sobald die definitive Baubewilligung erteilt wurde ($P + D + 1$). Je länger die Verzögerung dauert, desto kleiner wird der Diskontfaktor $1/(1 + r_t)^t$ in der Erstellungs- und Nutzungsphase mit dem die Zahlungsströme diskontiert werden. Entsprechend kleiner wird demzufolge der Barwert (BW).

Da die Verteilung der Verzögerungen rechtsschief ist, wird eine Lognormalverteilung gewählt, wobei der Erwartungswert und die Standardabweichung anhand historischer Daten abgeleitet werden.

4.3 Korrelation

Ein kritischer Aspekt der Simulationen ist die Berücksichtigung von Korrelationen zwischen den verschiedenen stochastischen Variablen. Korrelationen stellen die statistischen Beziehungen zwischen zwei oder mehr Variablen dar. In der MCS spiegeln sie wider, wie Änderungen in einer Variablen mit Änderungen in einer anderen Variablen zusammenhängen. So dürften in einem Immobilienprojekt beispielsweise die Angebotsmieten und die Leerstände negativ korreliert sein. Sind die Angebotsmieten eher hoch, wird das die Nachfrage dämpfen und die Leerstände erhöhen. Wird die Korrelation zwischen den Variablen ignoriert, kann das Modell ungenaue und möglicherweise irreführende Ergebnisse liefern. Daher ist es entscheidend, die richtigen Korrelationen in das Simulationsmodell zu integrieren.

Ein gängiges Verfahren zur Integration von Korrelationen in MCS ist die Cholesky-Zerlegung (Hull, 2012, S. 449-450). Dazu wird zuerst die positive definite Korrelationsmatrix C der n stochastischen Variablen berechnet. Diese Matrix beschreibt, wie stark die einzelnen Variablen miteinander korrelieren:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix} \tag{21}$$

Aus der Cholesky-Zerlegung resultiert die untere Dreiecksmatrix L, so dass $C = LL^T$:

$$L = \begin{pmatrix} l_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{pmatrix} \tag{22}$$

Die Matrix L wird dann mit einer Matrix unabhängiger standardnormalverteilter Zufallsvariablen Z_{ij} für $i = 1, 2, \dots, n$ und $j = 1, 2, \dots, m$ multipliziert, wobei m der Anzahl der Simulationen entspricht. Es resultiert eine Matrix X der Dimension $[n\ x\ m]$ mit n korrelierter Zufallsvariablen und m Beobachtungen.

$$Z_{ij} = \sum_{k=1}^{n} l_{ik} * z_{kj} \quad \text{für} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad und \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{23}$$

4.4 Übersicht der stochastischen und deterministischen Variablen

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die in der Analyse verwendeten stochastischen und deterministischen Variablen.

Variablen	Abkürzung	Deterministisch	Stochastisch
Angebotsmietertrag (Soll)	AM		x
Mietpreiswachstum	gm		x
Leerstandsziffer	lz		x
Übrige Erträge	UE	x	
Projektierungskosten	PC		x
Erstellungskosten	EK		x
Betriebskosten	BK	x	
Instandhaltungskosten	IH	x	
Instandsetzungskosten	IS		x
Übrige Kosten	UK	x	
Risikoloser Zinssatz	r_f		x
Immobilienmarktspezifische Risikoprämie	RP_1		x
Risikoprämie Makrolage	RP_2^{Macro}	x	
Risikoprämie Mikrolage/ Objekt	RP_2^{Micro}	x	
Risikoprämie Nutzungsart	$RP_2^{Nutzung}$	x	
Effektive Bewilligungsdauer	$D_{effektiv}$		x
Minimale Bewilligungsdauer	$D_{minimal}$	x	

Der Angebotsmietertrag (Soll) kommt im ersten Jahr zur Anwendung. Ab dem zweiten Jahr wird die Angebotsmiete um das Mietpreiswachstum erhöht um den Mietertrag (Soll) zu erhalten.

Tabelle 1: Variablenübersicht

Aus Tabelle 2 ist die jeweilige Verteilung der stochastischen Variablen sowie die Definition der Verteilungsparameter ersichtlich:

Stochastische Variable	**Verteilung**	**Parameter**
Angebotsmietertrag (Soll)	Normal	μ: Angebotsmiete im ersten Jahr aus der Bewertung, σ basiert auf historischen Daten auf Gemeindeebene von Wüest Partner
Mietpreiswachstum	Normal	μ: Mietpreiswachstum aus der Bewertung, σ basiert aus historischen Daten auf Gemeindeebene von Wüest Partner
Leerstandsziffer	Beta	μ: Leerstandsziffer aus der Bewertung, σ basiert auf historischen Daten auf Gemeindeebene aus der BFS-Datenbank
Projektierungskosten	Normal (trunkiert)	μ: Projektierungskosten aus der Bewertung, σ: $5\% * \mu$, min: $80\% * \mu$, max: $120\% * \mu$
Erstellungskosten	Normal (trunkiert)	μ: Baukosten aus der Bewertung, σ: $5\% * \mu$, min: $80\% * \mu$, max: $120\% * \mu$
Instandsetzungskosten	Normal (trunkiert)	μ: Instandhaltungskosten aus der Bewertung, σ: $2.5\% * \mu$, min: $90\% * \mu$, max: $110\% * \mu$
Risikoloser Zins	Normal	Vasicek-Modell, Kalibrierung anhand historischer Werte der 10-jährigen Schweizerischen Bundesobligationen und der Inflation aus der SNB-Datenbank, Simulation über 100 Jahre.
Immobilienmarktspezifische Risikoprämie	Normal (trunkiert)	μ: 1.25%, σ: 0.25%, min: 0.5%, max: 2%
Effektive Bewilligungsdauer	Lognormal	μ und σ basieren auf historischen Daten aus dem Baublatt

μ entspricht dem Erwartungswert, σ der Standardabweichung, min dem Minimum, max dem Maximum

Tabelle 2: Verteilung und Parameter der stochastischen Variablen

4.5 Vorgehen

Für die Bewertung und Analyse mit MCS werden für jedes Entwicklungsprojekt folgende Schritte durchgeführt:

1. Simulation der Entwicklung des risikolosen Zinssatzes ab dem Zeitpunkt des jeweiligen Bewertungsstichtages mittels der Formeln (10), (11) und (12);
2. Definition der Verteilungen der stochastischen Variablen anhand der in Tabelle 2 definierten Parameter;
3. Ermittlung der Zusammenhänge (Korrelationen) zwischen den stochastischen Variablen und Berechnung der abhängigen stochastischen Variablen anhand der Formeln (21), (22) und (23);
4. Berechnung der Zahlungsüberschüsse und des Restwerts anhand der Formeln (2), (3) und (5);

5. Berechnung des Diskontsatzes auf Basis des risikolosen Zinssatzes und der Risikoprämien (Formeln (13), (14), (15), (16) und (17));
6. Schätzung des Nettobarwerts unter Verwendung der Formel (20).

Dieses Vorgehen führt zu einer Punktschätzung des jeweiligen Projektwerts. Die Schritte 4 bis 6 werden dann für alle Projekte 50'000 Mal wiederholt, um eine Verteilung möglicher Werte der einzelnen Projekte zu erhalten.

Das gesamte Modell wurde eigenständig mit Python programmiert und sämtliche Berechnungen werden mit diesem Programm durchgeführt.

5. Daten

In den folgenden Kapiteln werden die Immobilienprojekte vorgestellt, deren Bewertungen die Basis für die Analyse mit MCS bilden. Ausserdem wird auf die Ergebnisse der Simulationen der stochastischen Variablen eingegangen.

5.1 Immobilienprojekte

Die Monte-Carlo-Simulation (MCS) wird auf eine Auswahl von Immobilienprojekten angewendet, die sich heute im Besitz institutioneller Investoren befinden. Zum Zeitpunkt der Bewertung waren drei der sechs Liegenschaften Akquisitionsobjekte. Der Kaufpreis für das Land dieser Akquisitionsobjekte fliesst nicht in die Bewertung ein. Entsprechend kann bei allen sechs Bewertungen von Residualwerten ausgegangen werden.

Die Bewertungen der Experten wurden teilweise zum Zeitpunkt der Fertigstellung erstellt. In diesen Fällen sind die Erstellungskosten in den Bewertungen nicht berücksichtigt. Da in dieser Arbeit die Analyse der Unsicherheiten zum Zeitpunkt der Grundstücksevaluation erfolgen soll, ist die Berücksichtigung der Erstellungskosten entscheidend. Folglich werden die Bewertungen um die Projektierungs- und Erstellungskosten ergänzt. Da die Finanzierung der Projekte auf Fonds- oder Unternehmensebene erfolgt, werden die Finanzierungskosten nicht berücksichtigt.

Abbildung 3: Regionale Verteilung der Immobilienprojekte

Abbildung 3 zeigt die regionale Verteilung der Immobilienprojekte. Diese umfasst sechs reale Wohnimmobilienprojekte unterschiedlicher Grösse. Die Projekte sind entweder bereits realisiert oder befinden sich im Bau. Da zum jeweiligen Zeitpunkt der Bewertung die zukünftige Zinsentwicklung unklar war, werden die Zinssätze ab dem Bewertungszeitpunkt simuliert.

5.2 Korrelationen

Da für einige der stochastischen Variablen keine historischen Daten auf Kantons- oder gar Gemeindeebene vorhanden sind, wird für die Berechnung der Korrelationen auf schweizweite Daten abgestellt. Entsprechend weist jedes Immobilienprojekt dieselbe Korrelationsmatrix auf. Die Korrelationen sind in Tabelle 3 dargestellt. Weisen zwei stochastische Variablen eine perfekte positive Korrelation aus, ist der Korrelationskoeffizient 1, während -1 eine perfekte negative Korrelation anzeigt. Ein Wert von 0 bedeutet, dass keine lineare Beziehung zwischen den Variablen besteht.

Zur Herleitung der Korrelation zwischen dem risikolosen Zinssatz, den Angebotsmieten, dem Mietpreiswachstum und der Leerstandsquote wurden historische Daten für die Schweiz verwendet. Die Analyse zeigt eine positive Korrelation zwischen den risikolosen Zinsen und den Angebotsmieten sowie dem Mietpreiswachstum, eine negative Korrelation zwischen dem risikolosen Zinssatz und den Leerstandsziffern sowie den Angebotsmieten, dem Mietpreiswachstum und dem Leerstand. Diese Resultate sind übereinstimmend mit den Ergebnissen der Untersuchung von Vonlanthen (2023, S. 14). Allerdings sind die Korrelationen zwischen den risikolosen Zinsen und den Angebotsmieten sowie dem Mietpreiswachstum statistisch nicht signifikant und werden demzufolge nicht übernommen.

Da keine detaillierten historischen Daten zu den Projektierungs-, Bau- und Instandhaltungskosten verfügbar sind, werden die Bau- und Renovationspreisindizes von Mehrfamilienhäusern als Proxy-Variablen herangezogen. Gemäss dem 4-Quadranten-Modell von DiPasquale & Wheaton (1996, S. 13-14) führen höhere Zinsen über höhere Finanzierungskosten zu einer geringeren Bau- und Renovationstätigkeit und damit sinkenden Bau- und Renovationspreisen. Die erwarteten negativen Korrelationen werden in Tabelle 3 bestätigt. Auch die erwarteten positiven Korrelationen zwischen der Angebotsmiete sowie dem Mietpreiswachstum und den Bau- und Renovationskosten über höhere Renditen und damit erhöhter Bautätigkeit wird anhand der Daten bestätigt. Darüber hinaus ergibt sich eine negative Korrelation zwischen der Leerstandsziffer und den Bau- und Renovationskosten. Dies entspricht ebenfalls dem 4-Quadranten-Modell von DiPasquale &

Wheaton (1996, S. 16-17), weil über die höheren Mieten im Anlagemarkt die Renditen steigen und somit im Baumarkt die Bau- und Renovationstätigkeit zunimmt. Die steigende Nachfrage nach Bauleistungen lässt folglich die Preise steigen. Die Korrelation ist statistisch allerdings nicht signifikant und fliesst dementsprechend nicht in das Modell ein.

Für die immobilienmarktspezifische Risikoprämie liegen keine historischen Daten vor. Es wird von einer negativen Korrelation zwischen den risikolosen Zinsen und der Risikoprämie ausgegangen (Hoesli et al., 2006, S. 113). Gegenüber den anderen stochastischen Variablen wird angenommen, dass keine Korrelation besteht. Auch die Verzögerung ist gemäss den Modellannahmen unkorreliert mit den übrigen stochastischen Variablen.

Variablen	r_f	RP_1	AM	gm	lz	$PC/EK/IS$	D
r_f	1.000	-0.500	0.094	0.028	-0.544	-0.591	0.000
	(0.000)	(n.d.)	(0.214)	(0.710)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
RP_1	-0.500	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)
AM	0.094	0.000	1.000	0.045	-0.290	0.609	0.000
	(0.214)	(n.d.)	(0.000)	(0.556)	(0.000)	(0.000)	(n.d.)
gm	0.028	0.000	0.045	1.000	-0.288	0.101	0.000
	(0.710)	(n.d.)	(0.556)	(0.000)	(0.000)	(0.316)	(n.d.)
lz	-0.544	0.000	-0.290	-0.288	1.000	0.174	0.000
	(0.000)	(n.d)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.081)	(n.d.)
$PC/EK/IS$	-0.591	0.000	0.609	0.101	0.174	1.000	0.000
	(0.000)	(n.d)	(0.000)	(0.316)	(0.081)	(0.000)	(n.d.)
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(n.d.)	(0.000)

Die Stichprobe enthält Quartalsdaten aus der SNB-Datenbank für die Renditen von 10-jährigen Schweizerischen Bundesanleihen für den risikolosen Zinssatz r_f, den Angebotsmietindex der Schweiz für die Angebotsmieten AM, das Mietindexwachstum der Schweiz für das Mietpreiswachstum gm, Jahresdaten aus der BFS-Datenbank für die Leerstandsziffer der Schweiz für die Leerstandsziffer lz sowie Halbjahresdaten aus der BFS-Datenbank für den Baupreis- und Renovationspreisindex von Mehrfamilienhäusern für die Projektierungskosten PC, die Erstellungskosten EK und die Instandsetzungskosten IS. Die Stichprobenperiode ist 1980-2023, ausgenommen für den Baupreisindex und den Renovationsindex, bei denen die Stichprobenperiode aufgrund der Datenverfügbarkeit 1998-2023 ist. RP_1 repräsentiert die immobilienmarktspezifische Risikoprämie und D die Verzögerungsdauer. Die Signifikanzwerte der jeweiligen Korrelationen werden in Klammern unter den Schätzungen angegeben.

Tabelle 3: Korrelation der stochastischen Variablen

5.3 Verteilung der stochastischen Variablen

5.3.1 Angebotsmieten und Mietpreiswachstum

Die aus der Bewertung des jeweiligen Immobilienprojekts vorliegenden Angebotsmieten und das Mietpreiswachstum werden im Sinne des wahrscheinlichsten Szenarios als Erwartungswert in die Verteilung übernommen. Die Standardabweichungen werden

basierend auf historischen Quartalsdaten auf Gemeindeebene von Wüest & Partner abgeleitet. Diese Daten sind zwar erst ab 2022 verfügbar, werden jedoch als präziser eingestuft als langfristige historische Daten auf regionaler Ebene (Mobilité Spatiale) aus der BFS-Datenbank. Eine beispielhafte Häufigkeitsverteilung der Angebotsmieterträge und des Mietpreiswachstums in einem Jahr für ein Entwicklungsprojekt ist im Anhang einsehbar (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8, S. 57).

5.3.2 Leerstandsziffer

Für die Simulation der Leerstandsziffer wird ähnlich wie bei den Mietpreisen vorgegangen: Die Werte aus den Bewertungen werden als Erwartungswert der Verteilung übernommen. Im Gegensatz zu den Mietpreisen sind jedoch historische Daten auf Gemeindeebene in der BFS-Datenbank vorhanden. Aus diesen Daten wird die Standardabweichung berechnet. Da die Leerstandsziffer lediglich Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann, wird eine Beta-Verteilung verwendet. Aufgrund ihrer Flexibilität eignet sich diese Verteilung besonders für die Modellierung von Anteilen (Wackerly et al., 2008, S. 194-195). Sie ist durch zwei Parameter, α und β, beschrieben. Diese Parameter bestimmen die Form der Verteilung, die rechtsschief, linksschief oder gleichmässig sein kann. Wenn $\alpha > \beta$, ist die Verteilung linksschief, während sie bei $\alpha < \beta$ rechtsschief ist. Das ermöglicht es auch, dem Umstand Rechnung zu tragen, dass Werte nahe 0 häufiger vorkommen als Werte nahe 1, was zu einer rechtsschiefen Verteilung führt. Der Erwartungswert der Beta-Verteilung beträgt $\alpha/(\alpha+\beta)$, während die Varianz durch $\alpha\beta/[(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)]$ (Wackerly et al., 2008, S. 194) gegeben ist. Mit numerischen Methoden werden dann die Gleichungen für jedes Jahr gelöst, um die Werte für die Parameter α_t und β_t zu erhalten. Im Anhang ist eine Häufigkeitsverteilung für ein Jahr und ein Entwicklungsprojekt als Beispiel dargestellt (vgl. Abbildung 9, S. 58).

5.3.3 Projektierungs-, Bau- und Instandsetzungskosten

Für die Projektierungs-, Bau- und Instandsetzungskosten entsprechen die Werte aus der Bewertung im Sinne des wahrscheinlichsten Szenarios dem Erwartungswert. Die Standardabweichung für die Projektierungs- und Baukosten entspricht 5% des Erwartungswerts. Das Minimum ist auf 80%, und das Maximum auf 120% des Erwartungswerts festgelegt. Für die Instandsetzungskosten beträgt die Standardabweichung 2.5% des Erwartungswerts. Das Minimum liegt bei 90% des Erwartungswerts und das Maximum bei 110%. Im Anhang sind beispielhafte Häufigkeitsverteilungen für die Projektierungskosten (Abbildung 10, S. 58), Baukosten (Abbildung 11, S. 59) und Instandsetzungskosten (Abbildung 12, S. 59) ersichtlich.

5.3.4 Diskontierungssatz

Der Diskontierungssatz besteht aus dem risikolosen Zinssatz und der Risikoprämie. Da die finanziellen Werte inflationsbereinigt sind, muss der reale Diskontierungssatz berechnet werden. Dazu wird zunächst der risikolose reale Zinssatz simuliert und anschliessend die Risikoprämie dazu addiert. Es resultiert der reale Diskontierungssatz.

Risikoloser Zinssatz

Aufgrund der langen Lebensdauer von Immobilien wird für die Schätzung des risikolosen Zinssatzes die Rendite einer langjährigen Bundesobligation verwendet (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 195). Fierz (2011, S. 67) empfiehlt sogar die Verwendung von Bundesanleihen mit einer Laufzeit von 20-30 Jahren. In der vorliegenden Analyse wird wegen der Datenverfügbarkeit auf die Renditen 10-jähriger Schweizerische Bundesobligationen abgestellt.

Im ersten Schritt werden die Parameter der Vasicek-Gleichung anhand historischer Daten kalibriert. Da die Parameter die reale Zinsdynamik simulieren sollen, wird in die Standard Vasicek-Gleichung eine Inflationskomponente eingeführt (vgl. Formel (11), Seite 27). Dazu muss zunächst bestimmt werden, welcher Verzögerungswert V den besten Lag repräsentiert. Das bedeutet, es muss ermittelt werden, wie lange die Marktteilnehmer üblicherweise benötigen, um ihre Erwartungen an die Inflation anzupassen. Dazu werden Regressionsanalysen der nominalen Zinssätze und der Inflation mit Verzögerungen von null bis acht Monaten durchgeführt. Die Ergebnisse der OLS-Regression sind in Tabelle 4 ersichtlich. Mit einer Verzögerung von sechs Monaten wird die höchste Erklärungsgüte (höchster R^2-Wert) der Daten erzielt. Dieser Verzögerungswert wird entsprechend für die Kalibrierung übernommen.

Lag	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Achsen-	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
abschnitt	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
Inflation	0.559	0.562	0.564	0.566	0.567	0.568	0.569	0.568	0.568
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
R^2	0.4935	0.4996	0.5036	0.5066	0.5092	0.5108	0.5115	0.5114	0.5103
n	832	832	832	832	832	832	832	832	832

Die Stichprobe enthält Monatsdaten für die Renditen von 10-jährigen Schweizerischen Bundesanleihen für den risikolosen Zinssatz und Monatsdaten für die Inflation aus der SNB-Datenbank. Die Stichprobenperiode ist 1955-2024. Die Signifikanzwerte der jeweiligen Variablen werden in Klammern unter den Schätzungen angegeben.

Tabelle 4: Regression der nominalen risikolosen Zinsen auf Inflation

Die Kalibrierung der Parameter Mean Reversion Level, Mean Reversion Speed und Volatilität erfolgt anhand der Formel (11) auf Seite 27 mit historischen Daten zu den Renditen 10-jähriger Schweizerischen Bundesobligationen und zur Inflation in der Schweiz. Da die realen Zinssätze mittelfristig wieder steigen könnten und höhere Zinsniveaus erwartet werden (Botteron et al., 2023, S. 18-19), wird eine möglichst lange Zeitspanne von 1955 bis 2024 gewählt. Damit ist sichergestellt, dass die Phase der Negativzinsen der letzten Jahre nicht zu stark ins Gewicht fällt und das Mean Reversion Level einen Wert annimmt, der das erwartete, höhere Zinsniveau reflektiert. Die Ergebnisse der Maximum-Likelihood (ML)-Schätzung für die Parameter Mean Reversion Speed a, Mean Reversion Level b und die Volatilität σ sind in Tabelle 5 dargestellt.

Parameter	**ML-Schätzung**
Mean Reversion Speed (a)	0.063
	(0.000)
Mean Reversion Level (b)	0.015
	(0.000)
Volatilität (σ)	0.005
	(0.000)
Inflation	0.038
	(0.081)
R^2-adjusted	0.382
n	832

Die Stichprobe enthält Monatsdaten für die Renditen von 10-jährigen Schweizerischen Bundesanleihen für den risikolosen Zinssatz und Monatsdaten für die Inflation aus der SNB-Datenbank. Die Stichprobenperiode ist 1955-2024. Die Signifikanzwerte der jeweiligen Variablen werden in Klammern unter den Schätzungen angegeben.

Tabelle 5: ML-Schätzung für die Parameter des Vasicek-Modells

Im zweiten Schritt werden 50'000 Simulationen für die Entwicklung der realen risikolosen Zinsen anhand des Vasicek-Modells (Formel (10), Seite 26) durchgeführt. Der Startpunkt ist der jeweilige Stichtag der Bewertung des Immobilienprojekts. Die Zinsreihen werden über 100 Jahre simuliert, um die angenommene Lebensdauer der Liegenschaften abzudecken. Die nominalen Anfangszinssätze werden anhand der Fisher-Gleichung (Formel (12), Seite 27) in reale Zinssätze umgerechnet. So resultiert beispielsweise für Anfang 2024 ein realer Startzinssatz von -0.76%.

Abbildung 4 zeigt bespielhaft den Pfad der realen Renditen der 10-jährigen Bundesobligation von zehn zufällig ausgewählten Simulationen von 2024 bis 2123. In der Abbildung ist auch der Erwartungswert, der zum Mean Reversion Level konvergiert, sowie das 95% Konfidenzintervall ersichtlich.

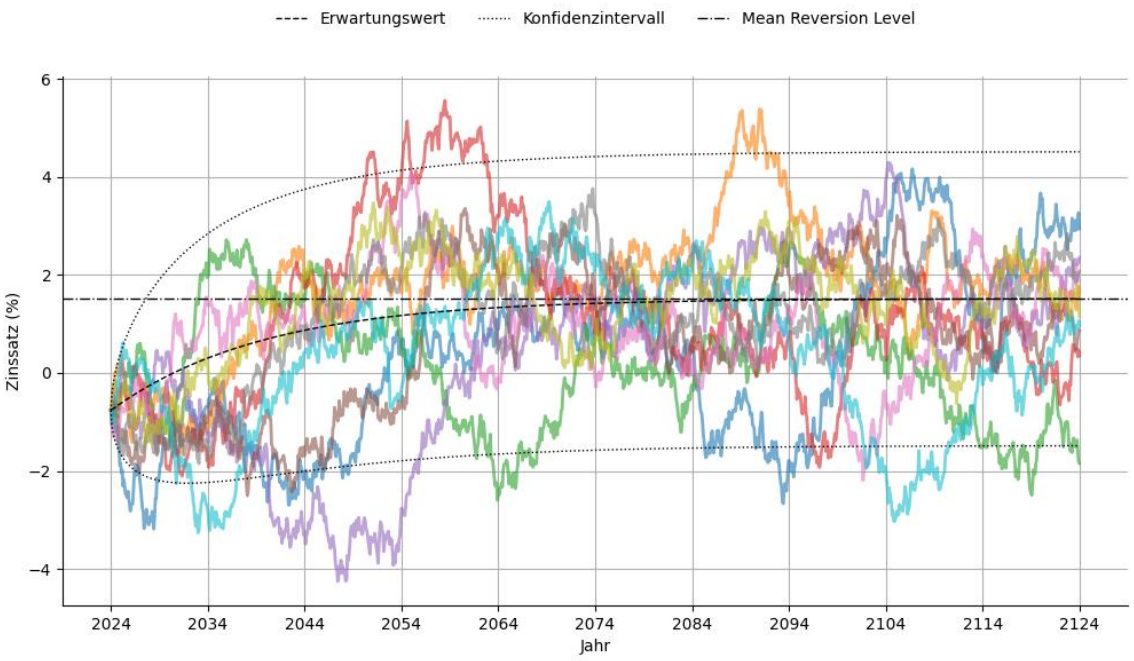

Abbildung 4: Simulierte Entwicklung der realen Renditen 10-jähriger Bundesobligationen von 2024-2123

Da im Bewertungsmodell die Zahlungsflüsse jährlich anfallen, werden die simulierten monatlichen Zinsen zu Jahreswerten aggregiert. In den ersten zehn Jahren (Planungszeitraum) werden aus den simulierten Werten die mittleren Jahreswerte berechnet. Für den Restwert wird der Durchschnitt der mittleren Endwerte der jeweiligen Jahre aggregiert. Beispielhaft sind die Dichtefunktionen für die risikolosen Zinssätze für die Jahre 2024 bis 2033 sowie für den Restwert (2034-2123) in Abbildung 5 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, wie die Erwartungswerte zum Mean Reversion Level konvergieren. Ausserdem nimmt mit zunehmender Prognosedauer das Risiko zu, was sich in einer zunehmenden Standardabweichung manifestiert. Die Standardabweichung für den Restwert entspricht dem Wert eines langen Betrachtungszeitraums und konvergiert daher zur Standardabweichung der ML-Schätzung. Die deskriptive Statistik einer beispielhaften Simulation ist im Anhang ersichtlich (vgl. Tabelle 8, S. 60).

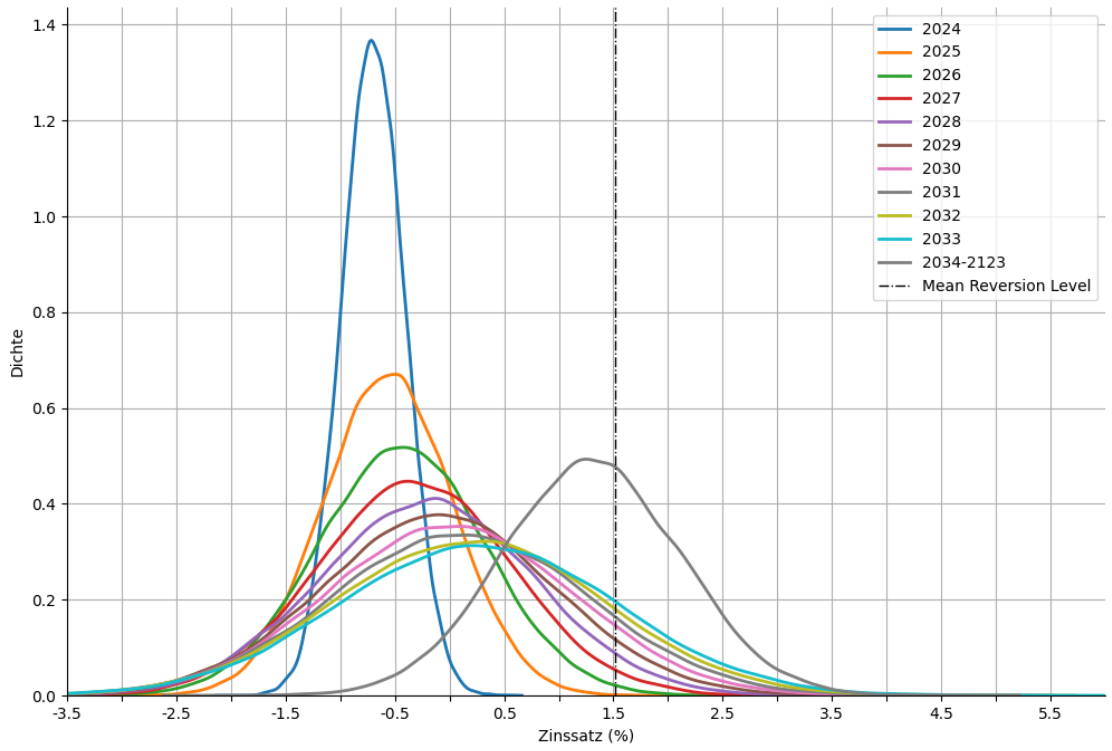

Abbildung 5: Dichtefunktion der Entwicklung der realen Renditen 10-jähriger Bundesobligationen

Risikoprämien

Die Risikoprämien auf dem risikolosen Zinssatz setzen sich aus dem Risikozuschlag für private Schuldner, der immobilienmarktspezifischen Risikoprämie und der objektspezifischen Risikoprämie zusammen. Der Risikozuschlag für private Schuldner entsteht, weil private Schuldner nicht die gleiche Bonität wie der Schweizer Staat haben. Da der risikolose Zinssatz anhand von Schweizer Bundesanleihen simuliert wird, muss die Bonitätsdifferenz zu privaten Schuldnern berücksichtigt werden. Fierz (2011, S. 67) schlägt hierfür eine Prämie zwischen 0.5% und 1.5% vor. Da es sich bei den vorliegenden Projektentwicklungen um Immobilien einer grossen Anlagestiftung handelt, wird eine gute Bonität unterstellt und die Prämie entsprechend auf 1% festgelegt.

Die immobilienmarktspezifische Risikoprämie fliesst als stochastische Variable in die Analyse ein. Sie entspricht der Differenz zwischen dem empirisch ermittelten Diskontsätzen der risikoärmsten Liegenschaft und dem risikolosen Zinssatz (SIREA, 2019, S. 21-22) und kann Werte zwischen 0.5% und 2% annehmen. Der Erwartungswert der trunkierten Normalverteilung wird entsprechend auf 1.25% festgelegt, das Minimum auf 0.5% unter dem Erwartungswert und das Maximum 2% darüber. Die Standardabweichung entspricht 0.25% des Erwartungswerts. Die Häufigkeitsverteilung der generieten Werte

unter Berücksichtigung der Korrelationen sind im Anhang einsehbar (vgl. Abbildung 13, S. 60).

Alle drei Komponenten der objektspezifischen Risikoprämie (vgl. Kapitel 4.2.5) fliessen als deterministische Variablen in die Analyse ein. In Tabelle 9 auf Seite 61 im Anhang sind die Ergebnisse der Zuschläge für jedes Projekt ersichtlich. Da es sich bei den vorliegenden Projekten vorwiegend um Wohnliegenschaften handelt, wird der Nutzungszuschlag auf 0% festgelegt.

5.3.5 Bauverzögerungen

Bauverzögerungen werden als die Differenz zwischen der effektiven Bewilligungsdauer und der minimalen Bewilligungsdauer definiert (vgl. Kapitel 4.2.6). Die minimale Bewilligungsdauer ist eine deterministische Variable und wird anhand der Angaben der Bauämter der jeweiligen Kantone oder, falls verfügbar, der Gemeinden ermittelt. Die effektive Bewilligungsdauer hingegen fliesst als stochastische Variable in das Modell ein. Der Erwartungswert und die Standardabweichung dieser Dauer werden auf Basis historischer Daten aus dem Baublatt berechnet. Die effektive Bewilligungsdauer kann nicht unter null sinken, aber je nach Einsprachen auf das Zwei- oder Dreifache der minimalen Bewilligungsdauer ansteigen. Daher wird die Verteilung der Werte am besten durch eine Lognormal-Verteilung beschrieben (Fahrländer & Kloess, 2023, S. 562). Ein beispielhaftes Histogramm der simulierten Werte für ein Immobilienprojekt ist im Anhang abgebildet (vgl. Abbildung 14, S. 61).

6. Ergebnisse

6.1 Simulationsergebnisse

Nach der Simulation der stochastischen Variablen wird die Simulation der Barwerte für jedes Projekt 50'000 Mal wiederholt. Dies ergibt 50'000 mögliche Barwerte für jedes Projekt. In Abbildung 6 sind die Dichtefunktionen der simulierten Barwerte dargestellt. Dabei steht jede Funktion für eine Projektentwicklung. Die Erwartungswerte liegen zwischen CHF 3.7 Mio. und CHF 72.0 Mio. Die breite Form der Dichtefunktionen verdeutlicht die hohen Unsicherheiten, denen Projektentwicklungen unterliegen. Die absoluten Häufigkeitsverteilung sind im Anhang ersichtlich (vgl. Abbildung 15-20, S. 62-64).

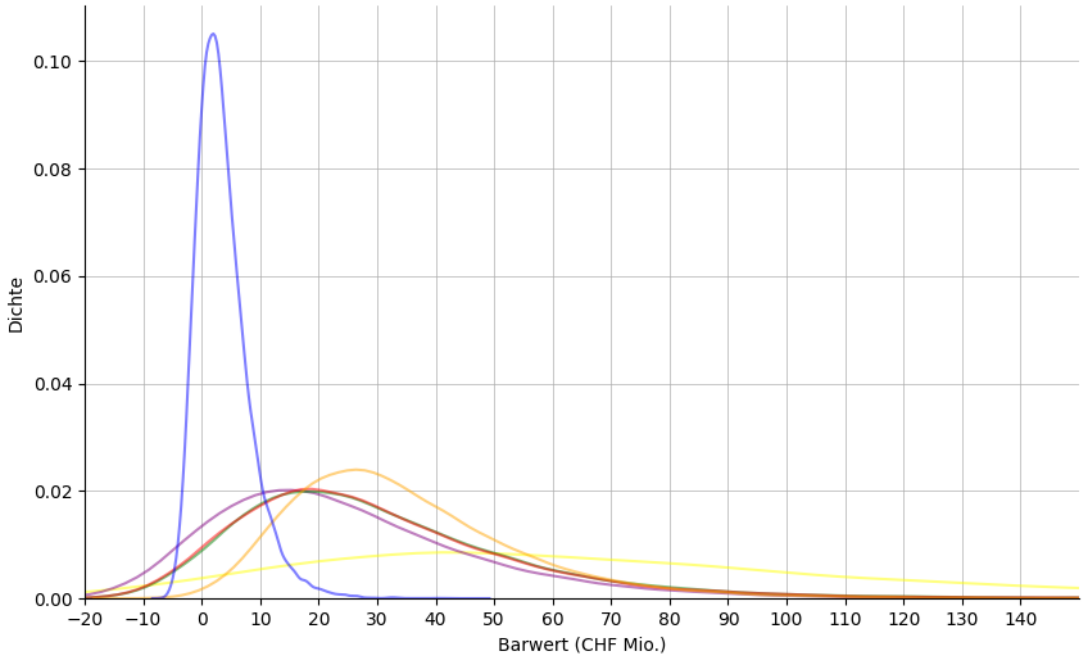

Abbildung 6: Dichtefunktion der simulierten Barwerte der Entwicklungsprojekte

Die Differenzen der Erwartungswerte im Vergleich zu den DCF-Werten aus den Bewertungen liegen zwischen 2.9% und 51.8%. Die Ergebnisse der MCS liegen teils über, teils unter den DCF-Werten, was auf keine systematische Abweichung hindeutet. Vielmehr dürfte der Hauptgrund auf die unterschiedliche Herleitung des Diskontsatzes zurückzuführen sein, da für die anderen stochastischen Variablen überwiegend die Erwartungswerte der Bewertungen übernommen wurden. Da die Herleitung des Diskontsatzes in den Bewertungen nicht beschrieben ist, sind detaillierten Vergleiche nicht möglich.

6.2 Risikoparameter

Da diese Arbeit primär das Ziel hat, die Unsicherheiten in der Projektentwicklung zu beurteilen, ist den Risikoparametern eine grössere Bedeutung beizumessen als dem Erwartungswert. Während bei einer klassischen DCF-Bewertung eine Punktschätzung

resultiert, ist das Ergebnis der MCS eine Verteilung von 50'000 möglichen Schätzungen. Anhand dieser Verteilung können Risikoparameter abgeleitet werden, welche die Unsicherheiten quantifizieren. Tabelle 6 zeigt die deskriptive Statistik der MCS aller Projektentwicklungen.

Projekt	Min	μ	Max	σ	Schiefe	Kurtosis	VaR
1	-54.168	71.974	755.694	58.491	1.416	4.088	8.080
2	-33.187	25.048	353.131	23.897	1.372	4.353	2.552
3	-27.676	30.509	287.653	24.998	1.514	4.811	2.628
4	-23.368	29.888	307.022	24.534	1.473	4.742	2.112
5	-11.470	34.743	271.925	20.178	1.380	4.079	11.474
6	-6.827	3.677	47.605	4.605	1.343	3.737	1.497

μ entspricht dem Erwartungswert, σ der Standardabweichung, Min dem Minimum, Max dem Maximum und VaR dem Value-at-Risk. Die Werte für Min, μ, Max und σ und VaR sind in CHF Mio. angegeben.

Tabelle 6: Deskriptive Statistik der MCS aller Entwicklungsprojekte

Die hohen Standardabweichungen zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit, Werte weit entfernt vom Erwartungswert zu finden, höher ist, was auf eine grössere Unsicherheit bezüglich des tatsächlichen Werts hinweist. Dies reflektiert die erheblichen Unsicherheiten, die mit Projektentwicklungen in der Phase der Grundstücksevaluation verbunden sind. Die Werte für die Schiefe sind deutlich höher als null, was auf rechtsschiefe Verteilungen hindeutet. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit hoher negativer Abweichungen vom Erwartungswert geringer, was Investoren grundsätzlich zusagt. Allerdings deuten die Werte für die Kurtosis auf einen Exzess hin. Entsprechend weisen die Verteilungen sogenannte „Fat Tails“ auf, was bedeutet, dass extreme Ausschläge vom Erwartungswert häufiger auftreten. Diese Abweichungen können zwar positiv oder negativ sein, werden aber von risikoaversen Investoren aufgrund der erhöhten Wahrscheinlichkeit negativer Ausschläge nicht geschätzt. Ein weiteres häufig verwendetes Risikomass ist der Value-at-Risk (VaR). Diese Kennzahl gibt den maximalen Verlust an, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (Konfidenzniveau) in einem bestimmten Zeitraum nicht überschritten wird (Hull, 2012, S. 471-473). Der VaR basiert auf dem Prinzip der Verlustaversion: Während positive Abweichungen vom Erwartungswert generell unproblematisch sind, meiden Investoren negative Abweichungen. Die Werte für den VaR mit einem Konfidenzniveau von 95% für einen Zeitraum von einem Jahr können der Tabelle 6 entnommen werden.

6.3 Sensitivitäten

Da die Definition der Verteilungen der stochastischen Variablen einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der MCS haben, werden die Variablen mit dem grössten Einfluss einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt.

Projekt		**1**		**2**		**3**	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
Risikoloser Zinssatz r_t							
Startzins	+100bp	71.574	58.534	24.955	23.995	30.035	24.486
	-100bp	72.612	58.993	25.058	24.150	30.856	24.576
a	+25%	66.867	46.777	23.342	19.503	27.677	19.464
	-25%	82.008	81.717	28.822	32.406	35.345	34.579
b	+25%	50.949	49.530	17.232	20.509	22.063	21.231
	-25%	95.606	68.666	34.627	28.514	40.356	29.427
Erstellungskosten EK							
μ	+25%	34.281	58.834	12.624	24.368	16.027	24.702
	-25%	81.417	58.979	37.885	24.043	44.595	24.778
σ	+25%	71.723	58.706	25.388	24.188	30.243	24.700
	-25%	71.907	58.045	25.247	23.972	30.310	24.651
Effektive Bewilligungsdauer $D_{effektiv}$							
μ	+25%	71.559	58.630	24.889	23.961	30.318	24.820
	-25%	72.383	58.651	25.272	24.076	30.549	25.038
σ	+25%	71.804	58.928	25.052	24.040	30.013	24.566
	-25%	71.820	58.333	25.018	23.838	30.540	24.565
Anfangsmietertrag AM							
μ	+25%	141.847	75.561	49.818	30.160	61.452	32.592
	-25%	1.609	41.551	0.445	18.283	-0.663	16.884
σ	+25%	72.107	59.469	25.046	24.829	30.320	24.958
	-25%	72.102	58.443	25.255	23.550	30.238	24.152

Projekt		**4**		**5**		**6**	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
Risikoloser Zinssatz r_t							
Startzins	+100bp	29.750	24.237	34.556	20.031	3.672	4.614
	-100bp	29.933	24.248	34.956	20.102	3.683	4.623
a	+25%	32.297	32.649	32.503	16.141	3.289	3.841
	-25%	28.396	19.620	38.678	27.687	4.535	6.365
b	+25%	21.502	20.827	27.755	17.249	2.197	3.975
	-25%	39.953	28.738	43.042	23.883	5.237	4.783
Erstellungskosten EK							
μ	+25%	13.545	24.282	22.848	20.194	1.270	4.648
	-25%	46.007	24.416	46.662	20.125	6.035	4.592
σ	+25%	29.768	24.569	34.867	20.376	3.690	4.632
	-25%	29.898	24.432	34.721	20.008	3.597	4.580
Effektive Bewilligungsdauer $D_{effektiv}$							
μ	+25%	29.789	24.247	34.522	20.004	3.629	4.622
	-25%	29.924	24.559	34.951	20.303	3.707	4.638
σ	+25%	29.629	24.520	34.823	20.277	3.656	4.613
	-25%	29.724	24.299	34.735	20.079	3.644	4.569
Anfangsmietertrag AM							
μ	+25%	58.488	31.206	60.146	25.895	8.577	5.754
	-25%	0.974	17.553	9.463	14.379	-1.221	3.540
σ	+25%	29.895	24.574	34.836	20.335	3.637	4.878
	-25%	29.922	24.208	34.782	19.947	3.638	4.407

μ entspricht dem Erwartungswert, σ der Standardabweichung, a dem Mean Reversion Speed, b dem Mean Reversion Level und bp sind Basispunkte (0.01%). Die Werte für μ und σ sind in CHF Mio. angegeben.

Tabelle 7: Sensitivitätsanalyse

Der Diskontierungssatz und damit der risikolose Zinssatz haben üblicherweise einen erheblichen Einfluss auf die Bewertungsergebnisse. Dies zeigt sich allerdings nicht in der Variation des Startzinses: Sinkt der Anfangszinssatz um 100 Basispunkte, steigen die Erwartungswerte um 0.1% bis 1.1%. Eine Erhöhung des Anfangszinssatzes um 100 Basispunkte führt hingegen zu einer moderaten Senkung der Erwartungswerte um 0.1% bis 1.6%. Dieser geringe Einfluss der Änderung des Anfangszinssatzes ist aufgrund der Charakteristik des Vasicek-Modells nicht überraschend. Zu Beginn einer Projektentwicklung fallen hauptsächlich Kosten an. Diese Kosten werden dann mit einem höheren Diskontierungssatz abgezinst. Dadurch sinkt der Nettobarwert der Kosten (negative Zahlungsströme). Im Laufe der Zeit nähert sich der Zinssatz infolge der Mean Reversion kontinuierlich dem Gleichgewichtszins an. Sobald der Zinssatz sich in Richtung Mean Reversion Level bewegt hat, entstehen üblicherweise positive Zahlungsströme in Form von Mieterträgen. Für die Berechnung des Restwerts befinden sich die Zinsen dann weitestgehend auf dem Niveau des Basisszenarios, wodurch der Effekt der Erhöhung des Anfangszinssatzes abgeschwächt wird.

Einen bedeutenderen Einfluss haben Veränderungen der Anziehungskraft des Driftterms (Mean Reversion Speed) und des Gleichgewichtszinses (Mean Reversion Level). Wird die Anziehungskraft um 25% erhöht, sinken die erwarteten Barwerte um 6.4% bis 10.6%. Bei einer entsprechend tieferen Anziehungskraft erhöhen sich die Erwartungswerte um 11.3% bis 23.3%. Einzige Ausnahme ist das Projekt Nummer 4. Hier sind die Effekte umgekehrt, da das Projekt in einem Jahr gestartet hat, in dem der Anfangszinssatz über dem Gleichgewichtszins lag. Noch grösser ist der Effekt einer Erhöhung des Gleichgewichtszinses. Wird der Zins um 25% auf 1.9% erhöht, sinken die Barwerte zwischen 20.1% und 40.3%. Eine Reduktion des Gleichgewichtszinses auf 1.1% führt zu einer deutlichen Erhöhung der Erwartungswerte (23.9% - 42.2%).

Eine weitere stochastische Variable mit grossen Auswirkungen auf die Barwerte sind die Erstellungskosten. Es zeigt sich, dass eine Erhöhung der Baukosten um 25% zu einer deutlichen Reduktion der Barwerte führt (14.5% - 65.5%). Fallen die Baukosten hingegen 25% geringer aus, steigen die Erwartungswerte um 13.1% bis 64.1%. Die Veränderung der Standardabweichungen der Baukosten führt erwartungsgemäss zu einer höheren, respektive tieferen Standardabweichung der simulierten Barwerte.

Die Auswirkungen einer Änderung der effektiven Verzögerung sind moderat. Eine Verlängerung des mittleren Verzögerungszeitraums um 25% führt zu niedrigeren Barwerten zwischen 0.3% und 1.3%. Eine Verkürzung um 25% erhöht die Werte um 0.1% bis 0.9%.

Diese geringen Auswirkungen resultieren hauptsächlich daraus, dass in der vorliegenden Analyse davon ausgegangen wird, dass die Finanzierung der Projekte auf Unternehmensebene erfolgt und somit keine Fremdfinanzierungskosten auf Projektebene anfallen. Daher führt die Verzögerung lediglich zu einer Erhöhung der Diskontfaktoren.

Deutliche Auswirkungen auf die Erwartungswerte hat hingegen die Veränderung der Anfangsmieterträge. Eine Erhöhung der Anfangsmieterträge um 25% führt zu einem Anstieg der Barwerte um 73.1% bis 133.3%. Bei einer Reduktion um 25% verringern sich die Werte um 72.8% bis 133.2%. Werden die Standardabweichungen variiert, verändern sich erwartungsgemäss auch die Standardabweichungen der Anfangsmieterträge.

Insgesamt verdeutlicht die Sensitivitätsanalyse die Wichtigkeit der Kalibrierung der stochastischen Variablen. Die Erwartungswerte und Standardabweichungen müssen präzise gewählt werden, um zuverlässige und aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Fehlerhafte Kalibrierungen können zu erheblichen Abweichungen in den Ergebnissen führen und die Entscheidungsgrundlagen verfälschen. Daher ist eine gründliche und sorgfältige Analyse der Einflussfaktoren essenziell, um die Genauigkeit und Verlässlichkeit des Modells sicherzustellen.

7. Zusammenfassung und Fazit

7.1 Fazit

Die vorliegende Arbeit hat sich mit der Bewertung von Immobilienprojekten unter Berücksichtigung von Risiken und Unsicherheiten auseinandergesetzt. Hierbei wurde insbesondere die MCS als fortschrittliches Instrument zur Modellierung und Analyse dieser Unsicherheiten betrachtet. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die traditionelle DCF-Methode durch ihre deterministischen Annahmen oft nicht ausreicht, um die komplexen Realitäten und die inhärenten Unsicherheiten der Projektentwicklung angemessen zu berücksichtigen.

Die DCF-Methode basiert auf festen Annahmen und liefert eine einzige Punktschätzung für den Wert eines Projekts. Dies birgt das Risiko, dass mögliche Abweichungen der Eingangsparameter nicht hinreichend dargestellt werden. In der Praxis bedeutet dies, dass in der DCF-Bewertung der Unsicherheit zu wenig Rechnung beigemessen wird. Insbesondere bei komplexen und langfristigen Immobilienprojekten kann diese Herangehensweise zu ungenauen und potenziell riskanten Entscheidungen führen. Die Monte-Carlo-Simulation bietet hier einen entscheidenden Vorteil: Sie verwendet einen probabilistischen Ansatz, der eine Vielzahl von möglichen Szenarien durchläuft und so eine Verteilung der möglichen Projektergebnisse liefert. Diese Methode ermöglicht es, die Unsicherheiten realistischer einzuschätzen und eine fundiertere Beurteilung möglicher Abweichungen vorzunehmen.

Ein zentrales Element der MCS ist die Auswahl der stochastischen Variablen, die für die Simulation verwendet werden. In dieser Arbeit wurden wichtige Variablen wie Anfangsmieterträge, Mietpreiswachstum, Leerstandsziffer, Erstellungskosten und Diskontsatz identifiziert und analysiert. Diese Variablen wurden aufgrund ihrer hohen Relevanz und ihres signifikanten Einflusses auf die Bewertungsergebnisse ausgewählt. Beispielsweise beeinflussen die Anfangsmieterträge und die Erstellungskosten massgeblich den Barwert eines Projekts. Durch die Berücksichtigung dieser Variablen in der MCS konnte eine detaillierte Analyse der möglichen Auswirkungen von Unsicherheiten auf die Projektergebnisse durchgeführt werden.

Die Sensitivitätsanalyse zeigte, dass Änderungen beim risikolosen Zinssatz, bei den Anfangsmieterträgen und den Erstellungskosten die grössten Auswirkungen auf die Barwerte haben. Obwohl Bauverzögerungen ebenfalls Einfluss auf die Bewertung haben, fiel dieser im Vergleich zu den anderen Faktoren moderater aus. Dies liegt unter anderem

daran, dass die Finanzierung der Projekte auf Unternehmensebene erfolgt und somit keine spezifischen Fremdfinanzierungskosten auf Projektebene anfallen.

Die Anwendung der MCS in dieser Arbeit hat gezeigt, dass diese Methode wertvolle Einblicke in die Risiken und Unsicherheiten von Immobilienprojekten bieten kann. Durch die Simulation einer Vielzahl von möglichen Szenarien und deren Wahrscheinlichkeiten wird eine differenziertere Betrachtung und Bewertung ermöglicht. Dies führt zu fundierteren und besser informierten Entscheidungsprozessen. Die Ergebnisse der MCS liefern nicht nur eine Punktschätzung, sondern eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der möglichen Werte, was die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Bewertung erheblich verbessert.

7.2 Diskussion

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Anwendung der MCS zur Bewertung von Immobilienprojekten eine valable Methode darstellt, um die grossen Unsicherheiten und Risiken realistischer abzubilden aber auch mit einem nicht zu unterschätzenden Aufwand verbunden ist. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse lassen sich wichtige Handlungsempfehlungen ableiten.

Zunächst hat sich die eigenständige Programmierung einer MCS mit Python als enorm aufwändig herausgestellt. Zwar bietet Python grosse Flexibilität und Anpassungsmöglichkeiten, jedoch können spezialisierte Softwaretools wie Crystal Ball, ModelRisk oder @Risk eine einfachere Implementierung ermöglichen. Diese Programme bieten benutzerfreundliche Schnittstellen und vorgefertigte Funktionen zur Durchführung von MCS, sind jedoch möglicherweise in ihrer Flexibilität eingeschränkt. Es ist ratsam, die Vor- und Nachteile dieser Tools abzuwägen und je nach Komplexität des Projekts und den spezifischen Anforderungen zu entscheiden.

Es hat sich ausserdem gezeigt, dass die Güte des Modells massgeblich von der Auswahl der richtigen Inputparameter und deren Verteilungen abhängt. Es ist essenziell, dass die relevanten stochastischen Variablen, wie Anfangsmieterträge, Mietpreiswachstum, Leerstandsziffer, Erstellungskosten und Diskontsatz, sorgfältig ausgewählt und ihre Wahrscheinlichkeitsverteilungen präzise bestimmt werden. Eine ungenaue Modellierung dieser Parameter kann zu erheblichen Verzerrungen der Bewertungsergebnisse führen. Daher sollte bei der Festlegung der Verteilungen auf aktuelle Marktdaten und fundierte Expertenschätzungen zurückgegriffen werden. Eine Verknüpfung mit umfassenden Datenbanken wie Wüest Partner, IAZI oder Fahrländer & Partner könnte diesen Prozess

erheblich erleichtern. Diese Datenbanken bieten umfangreiche und aktuelle Marktinformationen, die die Genauigkeit der Inputparameter und somit die Qualität der MCS-Modelle verbessern können.

Unabhängig davon zeigt die hohe Sensitivität der Inputparameter, dass die Bewertung von Immobilienprojekten keine exakte Wissenschaft ist, sondern eher eine Kunst, die stark auf Schätzungen beruht. Es ist wichtig, dies im Bewertungsprozess zu berücksichtigen und die Ergebnisse als fundierte Expertenschätzungen zu verstehen, die einer gewissen Unsicherheit unterliegen. Dies betont die Notwendigkeit, regelmässig Analysen durchzuführen, um die Auswirkungen von Änderungen in den Inputparametern auf die Bewertungsergebnisse zu verstehen und zu beurteilen.

Letztlich kann ein erfahrener Projektentwickler Risiken häufig gut abschätzen und Unsicherheiten durch eine entsprechende Risikomarge in der Bewertung abdecken. Bei kleineren und weniger komplexen Projekten kann diese Herangehensweise ausreichend sein. Sobald jedoch die Projekte grösser und komplexer werden, reicht die Erfahrung allein oft nicht aus. In solchen Fällen bietet sich die Durchführung einer Bewertung mittels MCS an, um die vielfältigen Unsicherheiten und Risiken detailliert zu erfassen und eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu schaffen.

Für eine grössere Projektentwicklungsfirma, die mehrere Projekte gleichzeitig in unterschiedlichen Phasen bearbeitet, kann es ausserdem von besonderem Interesse sein, den Value-at-Risk (VaR) auf Unternehmensebene zu kennen. Der VaR bietet eine quantitative Einschätzung des maximalen Verlusts, den das Unternehmen in einem bestimmten Zeitraum mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit erleiden könnte. Allerdings muss dann berücksichtigt werden, dass der VaR im Allgemeinen nicht subadditiv ist. Entsprechend sind die aggregierten VaR der Einzelprojekte nicht unbedingt gleich dem VaR auf Unternehmensebene.

7.3 Ausblick

Für zukünftige Forschungsarbeiten und praktische Anwendungen ergeben sich mehrere interessante Perspektiven. Ein wichtiger nächster Schritt besteht in der umfassenden Modellierung aller relevanten Inputvariablen. Dazu gehört die Simulation objektspezifischer Risikoprämien, die die besonderen Eigenschaften und Risiken eines individuellen Projekts widerspiegeln. Auch die Simulation von Instandhaltungskosten würde eine realistischere Darstellung der Unsicherheiten von langfristigen Aufwendungen für den Erhalt

der Immobilien gewährleisten. Diese Erweiterungen würden die Genauigkeit der Simulationen weiter erhöhen und zu einer noch besseren Analyse der Unsicherheiten führen.

Aus Sicht der Trader Developer, ist es entscheidend, die Projektfinanzierungskosten in die Bewertung einzubeziehen. Diese Kosten spielen eine wesentliche Rolle bei der Rentabilität eines Projekts, insbesondere wenn kein steuerlicher Vorteil (Tax Shield) genutzt werden kann. Die Berücksichtigung der Finanzierungskosten würde eine umfassendere und realistischere Bewertung ermöglichen und den spezifischen Bedürfnissen dieser Entwicklergruppe gerecht werden.

Letztendlich müsste die Programmierung der MCS kontinuierlich weiterentwickelt werden, um die Effizienz und Benutzerfreundlichkeit zu verbessern. Eine vielversprechende Möglichkeit besteht ausserdem in der Verknüpfung der Simulationen mit umfassenden Datenbanken wie Wüest Partner, IAZI oder Fahrländer & Partner. Diese Integration würde die Datensammlung erheblich erleichtern und die Qualität der Inputparameter verbessern. Darüber hinaus könnten standardisierte Schnittstellen und Automatisierungen entwickelt werden, um den gesamten Bewertungsprozess zu optimieren.

8. Literaturverzeichnis

Asset Management Association Switzerland. (2008). *Richtline für die Immobilienfonds*. https://www.am-switzerland.ch/de/selbstregulierung/richtlinien-gueltig-ab-1-januar-2022

Atherton, E., French, N., & Gabrielli, L. (2008). Decision theory and real estate development: A note on uncertainty. *Journal of European Real Estate Research*, *1*(2), 162–182.

Baroni, M., Barthélémy, F., & Mokrane, M. (2006). Monte Carlo Simulations versus DCF in Real Estate Portfolio Valuation. *ESSEC Working Paper DR 06002*, 1–27.

Baroni, M., Barthélémy, F., & Mokrane, M. (2007). Using rents and price dynamics in real estate portfolio valuation. *Property Management*, *25*(5), 462–486.

Benninga, S., & Wiener, Z. (1998). Term Structure of Interest Rates. *Mathematics in Education and Research*, *7*(2), 1–9.

BGE 102 Ib 353 (22. Dezember 1976). http://relevancy.bger.ch/php/clir/http/index.php?highlight_docid=atf%3A%2F%2F102-IB-353%3Ade&lang=de&type=show_document

BGE 122 I 168 (24. Juni 1996). http://relevancy.bger.ch/php/clir/http/index.php?lang=de&type=highlight_simple_similar_documents&page=1&from_date=&to_date=&from_year=1954&to_year=2023&sort=relevance&insertion_date=&from_date_push=&top_subcollection_clir=bge&docid=atf%3A%2F%2F102-IB-353&rank=2&highlight_docid=atf%3A%2F%2F122-I-168%3Ade&number_of_ranks=69&azaclir=clir

Bone-Winkel, S. (1994). *Das strategische Management von offenen Immobilienfonds unter besonderer Berücksichtigung der Projektentwicklung von Gewerbeimmobilien*. Müller.

Botteron, M., Carnazzi Weber, S., Fischer, F., Maurer, C., Mügeli, M., Rieder, T., & Waltert, F. (2023). Ein Jahr Zinswende. *Monitor Schweiz*, *2*.

Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht), 220 SR (1911). https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/27/317_321_377/de

Byrne, P. (1984). *Risk, uncertainty, and decision-making in property development*. Spon.

Collan, M., Fullér, R., & Mezei, J. (2009). *A Fuzzy Pay-Off Method for Real Option Valuation*. 165–169.

Cox, J. C., Ingersoll, J. E., & Ross, S. A. (1985). A Theory of the Term Structure of Interest Rates. *Econometrica*, *53*(2), 385–407.

Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, *7*(3), 229–263.

DiPasquale, D., & Wheaton, W. C. (1996). *Urban economics and real estate markets*. Prentice Hall.

Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press.

Fahrländer Partner. (2021). *Immobilien Almanach Schweiz 2021*. https://fpre.ch/wp-content/uploads/Almanach_2021.pdf

Fahrländer, S. S., & Kloess, S. (2023). *Grundlagen der Immobilienökonomie Lehrbuch in 2 Bänden*. SIV.

Fama, E. F., & French, K. R. (1989). Business conditions and expected returns on stocks and bonds. *Journal of Financial Economics*, *25*(1), 23–49.

Ferson, W. E., & Campell, H. R. (1991). The variation of economic risk premiums. *Journal of Political Economy*, *99*(2), 385–415.

Fierz, K. (2011). *Immobilienökonomie und Bewertung von Liegenschaften: Unter besonderer Berücksichtigung des Schweizer Immobilienmarktes* (6. Auflage). Schulthess.

Fisher, I. (2012). *The theory of interest: As determined by impatience to spend income and opportunity to invest it* (Nachdr. der Ausg.: New York, NY : Macmillan, 1930). Martino Publ.

Fishman, G. S. (1997). *Monte Carlo: Concepts, algorithms, and applications* (Corr. 2nd print). Springer.

French, N. (2011). Valuing in the downturn: Understanding uncertainty. *Journal of Property Investment & Finance*, *29*(3), 312–322.

French, N., & Gabrielli, L. (2004). The uncertainty of valuation. *Journal of Property Investment & Finance*, *22*(6), 484–500.

French, N., & Gabrielli, L. (2005). Discounted cash flow: Accounting for uncertainty. *Journal of Property Investment & Finance*, *23*(1), 75–89.

Fries, D. (2016). Unsicherheiten und Risiken in Immobilienbewertungen: Monte-Carlo-Simulation zur Bewertung von Wohnliegenschaften. *CUREM Abschlussarbeit*. https://www.curem.uzh.ch/static/abschlussarbeiten/2016/Fries_Denise_AbAr_Lg15-16.pdf

Geltner, D., Miller, N. G., Clayton, J., & Eichholtz, P. (2014). *Commercial real estate: Analysis and investments* (3e Aufl.). OnCourse Learning.

Gimpelevich, D. (2011). Simulation-based excess return model for real estate development. *Journal of Property Investment & Finance*, *29*(2), 115–144.

Gordon, M. J. (1959). Dividends, Earnings, and Stock Prices. *The Review of Economics and Statistics*, *41*(2), 99.

Hertz, D. B. (1964). Risk Analysis in Capital Investment. *Harvard Business Review*, *23*(1), 95–106.

Hodder, J. E., & Riggs, H. E. (1985). Pitfalls in Evaluating Risky Projects. *Harvard Business Review*, *63*(1), 128–135.

Hoesli, M., Jani, E., & Bender, A. (2006b). Monte Carlo simulations for real estate valuation. *Journal of Property Investment & Finance*, *24*(2), 102–122.

Hofstadler, C., & Kummer, M. (2017). *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft: Für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft*. Springer Vieweg.

Hull, J. (2012). *Options, futures, and other derivatives* (8th ed). Prentice Hall.

Kelliher, C. F., & Mahoney, L. S. (2000). Using Monte Carlo Simulations to Improve Long-Term Investment Decisions. *The Appraisal Journal*, *68*(1), 44–56.

Li, L. H. (2000). Simple computer apllications improve the versatility of discounted cash flow analysis. *The Appraisal Journal*, *68*(1), 86–92.

Loepfe, A., Schweizerische Kammer der Experten in Immobilienbewertungen, Hauseigentümerverband Zürich, RICS Switzerland, Schweizer Immobilienschätzer-Verband, & Schweizerische Schätzungsexperten-Kammer/Schweizerischer Verband der Immobilienwirtschaft (Hrsg.). (2017). *Swiss Valuation Standard (SVS): Best Practice of Real Estate Valuation in Switzerland* (3., überarbeitete und ergänzte Auflage). vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich.

Loizou, P., & French, N. (2012). Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. *Journal of Property Investment & Finance*, *30*(2), 198–210.

Lorenz, D., Trück, S., & Lützkendorf, T. (2006). Addressing risk and uncertainty in property valuations: A viewpoint from Germany. *Journal of Property Investment & Finance*, *24*(5), 400–433.

Marty, R., & Meins, E. (2015). *Rendite- und Risiko-Kennzahlen für Immobilien aus Nachhaltigkeitssicht*. 1–23.

Mintah, K., Higgins, D., Callanan, J., & Wakefield, R. (2018). Staging option application to residential development: Real options approach. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, *11*(1), 101–116.

Mun, J. (2006). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions* (2nd ed). John Wiley & Sons.

Myers, S. C. (1974). Interactions of Corporate Financing and Investment Decisions-Implications for Capital Budgeting. *The Journal of Finance*, *29*(1), 1–25.

Pyhrr, S. A. (1973). A Computer Simulation Model to Measure the Risk in Real Estate Investment. *Real Estate Economics*, *1*(1), 48–78.

SIREA. (2019). *Zinssätze in der Immobilienbewertung*. SIV.

Sloman, J. (2006). *Economics* (6. ed). Prentice Hall/Financial Times.

Spremann, K. (2004). *Valuation: Grundlagen moderner Unternehmensbewertung*. Oldenbourg.

SVKG. (2019). *Das Schweizerische Schätzerhandbuch* (5., überarb. und erw. Aufl). Verlag.

Vasicek, O. (1977). An Equilibrium characterization of the term structure. *Journal of Financial Economics*, *47*(5), 177–188.

Vonlanthen, J. (2023). Interest rates and real estate prices: A panel study. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, *159*(1), 6.

Wackerly, D. D., Mendenhall, W., & Scheaffer, R. L. (2008). *Mathematical statistics with applications* (7. ed., international ed). Thomson Higher Education.

Wofford, L. E. (1978). A Simulation Approach to the Appraisal of Income Producing Real Estate. *Real Estate Economics*, *6*(4), 370–394.

Yeh, I.-C., & Lien, C.-H. (2020). Evaluating real estate development project with Monte Carlo based binomial options pricing model. *Applied Economics Letters*, *27*(4), 307–324.

9. Anhang

9.1 Verteilung der stochastischen Variablen

9.1.1 Angebotsmieten

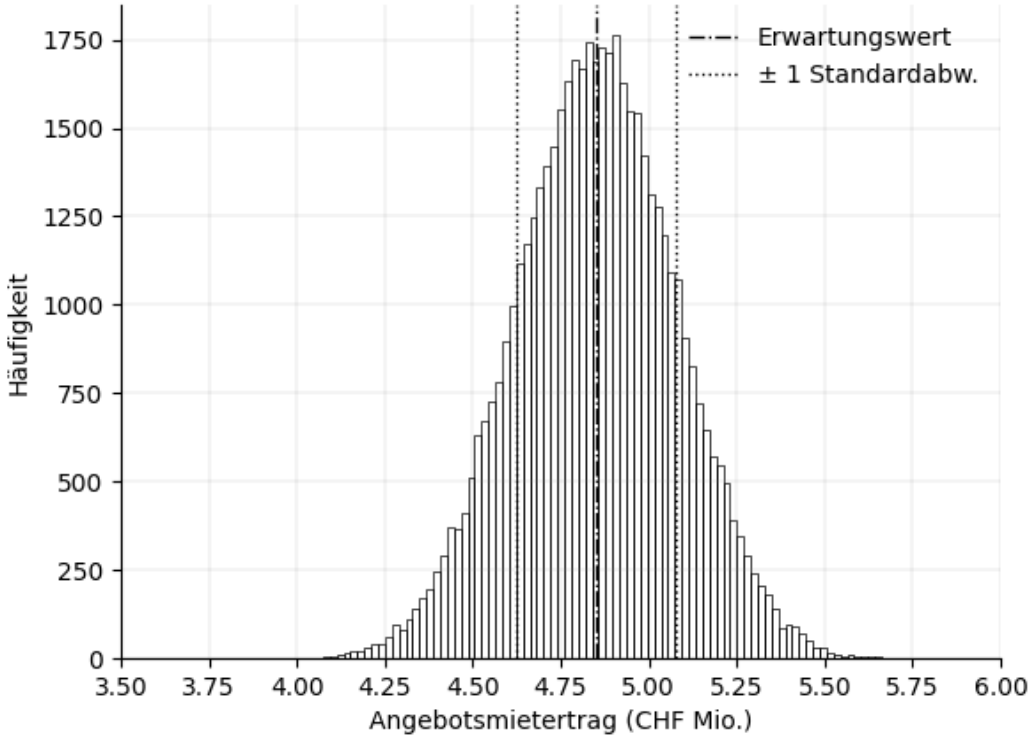

Abbildung 7: Absolute Häufigkeitsverteilung des Angebotsmietertrags von Projekt 3 im Jahr 2020

9.1.2 Mietpreiswachstum

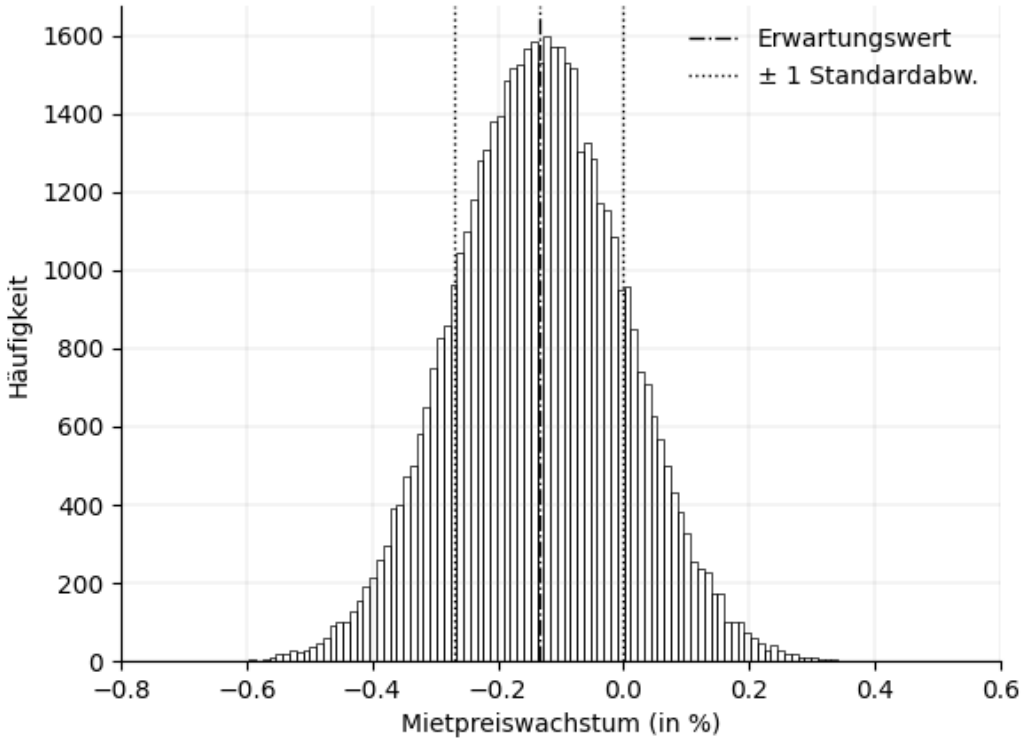

Abbildung 8: Absolute Häufigkeitsverteilung des Mietpreiswachstum von Projekt 1 im Jahr 2025

9.1.3 Leerstandsziffer

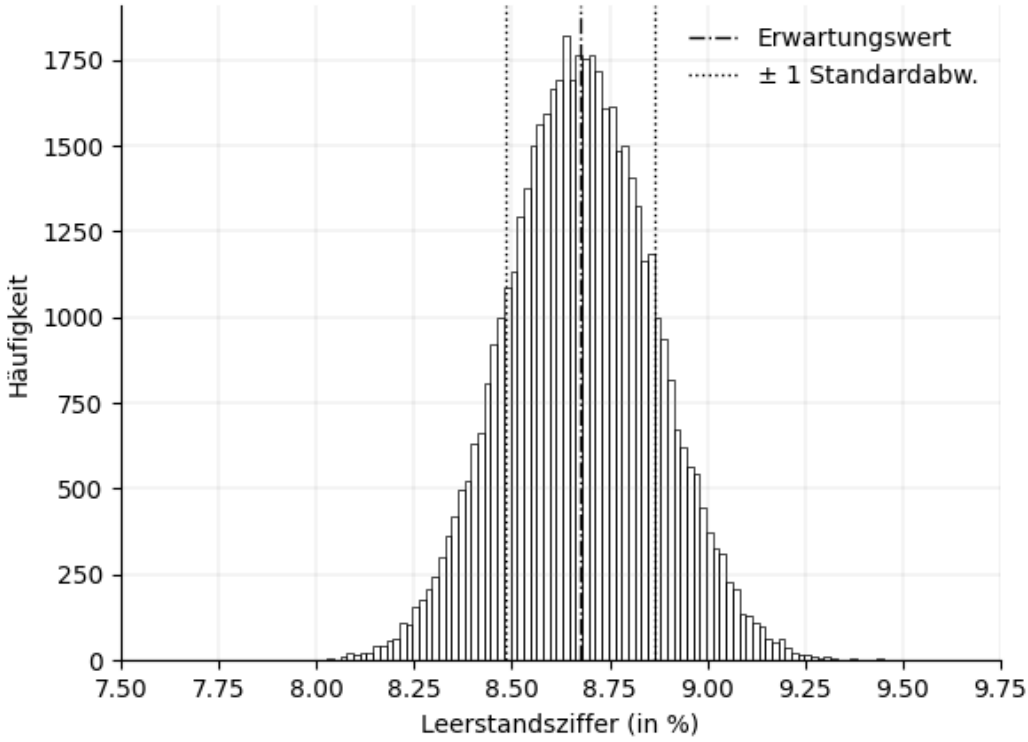

Abbildung 9: Absolute Häufigkeitsverteilung der Leerstandsziffer von Projekt 3 im Jahr 2020

9.1.4 Projektierungskosten

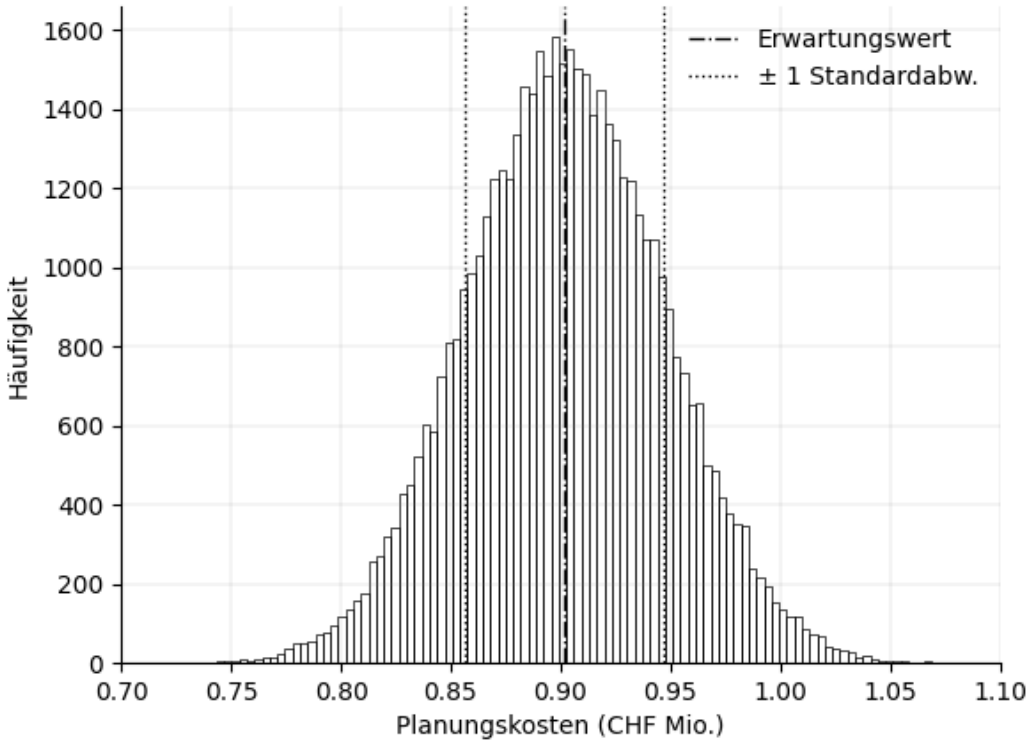

Abbildung 10: Absolute Häufigkeitsverteilung der Projektierungskosten von Projekt 6 im Jahr 2022

9.1.5 Baukosten

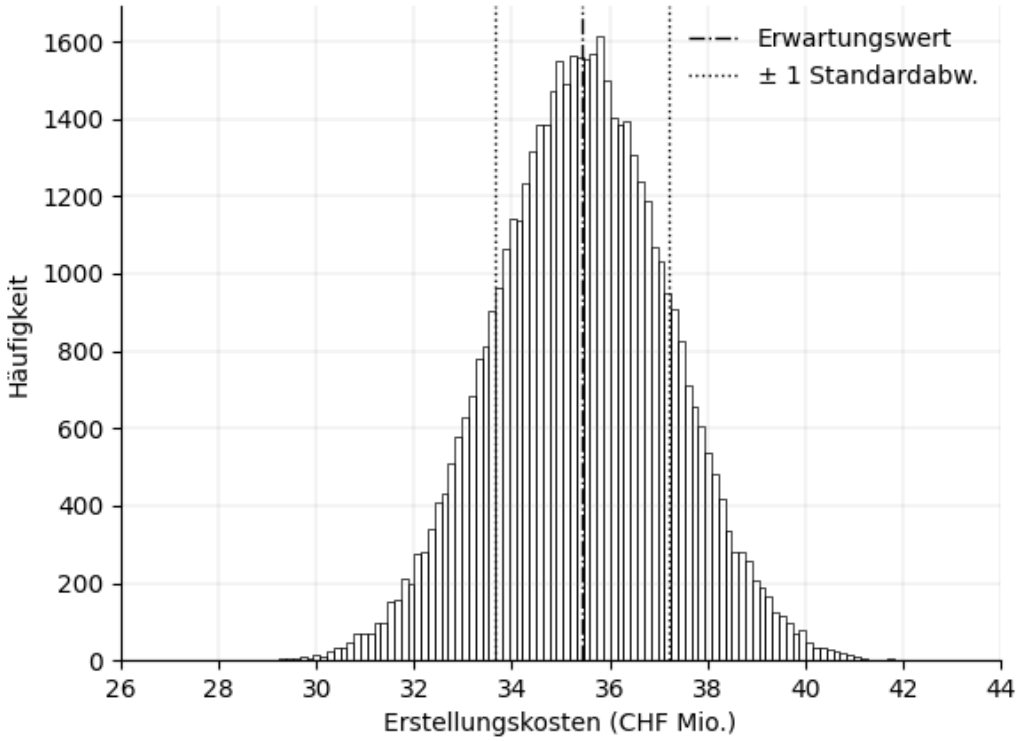

Abbildung 11: Absolute Häufigkeitsverteilung der Erstellungskosten von Projekt 4 im Jahr 2015

9.1.6 Instandsetzungskosten

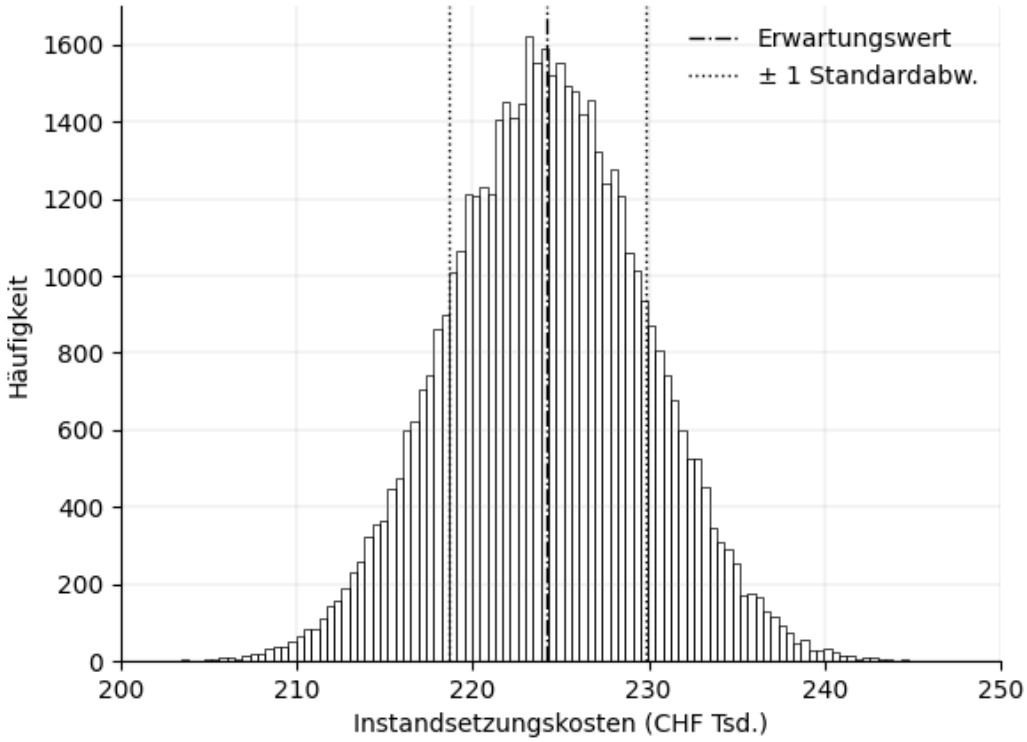

Abbildung 12: Absolute Häufigkeitsverteilung der Instandsetzungskosten von Projekt 2 im Jahr 2026

9.1.7 Beispielhafte Simulationsergebnisse der risikolosen Zinssätze

Jahr	Minimum	Erwartungswert	Maximum	Standardabweichung	Schiefe	Kurtosis
2024	-1.858%	-0.698%	0.560%	0.287%	0.44	3.25
2025	-3.142%	-0.561%	1.855%	0.588%	0.48	-1.13
2026	-3.927%	-0.437%	2.873%	0.759%	-0.08	1.21
2027	-4.198%	-0.322%	3.595%	0.885%	-1.52	1.86
2028	-4.375%	-0.209%	3.918%	0.982%	-1.51	2.46
2029	-4.360%	-0.104%	4.816%	1.056%	-1.21	3.92
2030	-4.569%	-0.006%	4.897%	1.122%	-0.86	3.51
2031	-5.604%	0.086%	5.309%	1.176%	0.29	4.33
2032	-5.388%	0.174%	5.759%	1.222%	1.09	3.15
2033	-5.278%	0.261%	5.173%	1.259%	1.15	1.10
Restwert	-1.915%	1.300%	5.123%	0.810%	-1.47	-0.12

Die Stichprobe enthält Monatsdaten für die Renditen von 10-jährigen Schweizerischen Bundesanleihen für den risikolosen Zinssatz und Monatsdaten für die Inflation aus der SNB-Datenbank. Die Stichprobenperiode ist 1955-2024. Die Simulation wurde 50'000 durchgeführt.

Tabelle 8: Deskriptive Statistik der Simulation der risikolosen Zinssätze

9.1.8 Immobilienmarkspezifische Risikoprämie

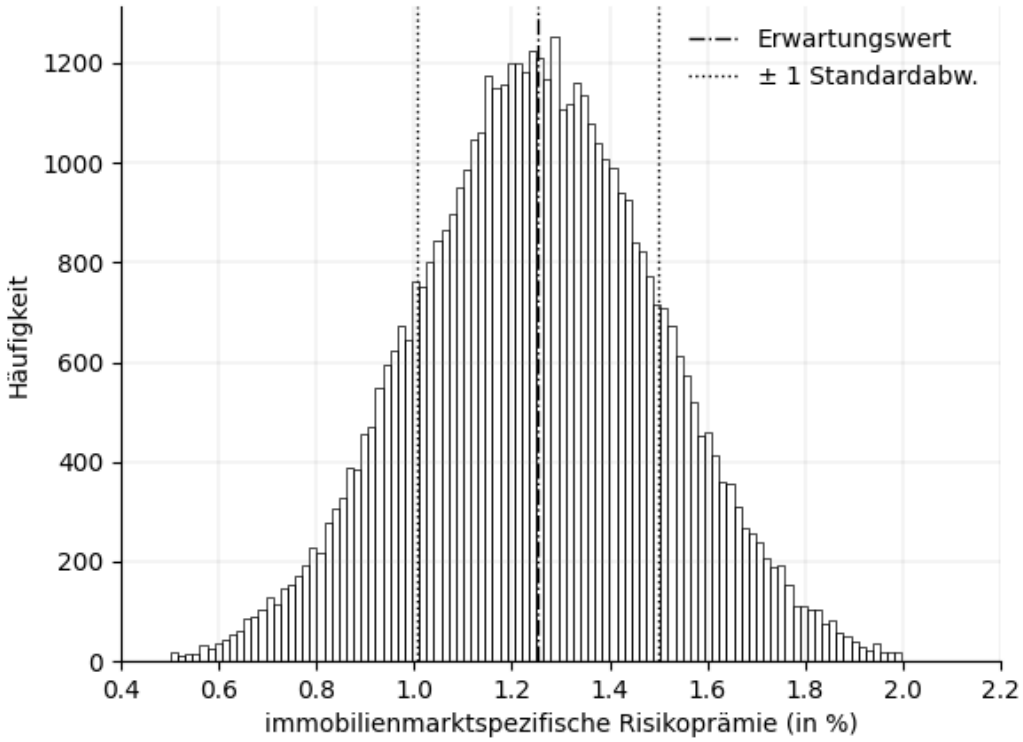

Abbildung 13: Absolute Häufigkeitsverteilung der immobilienmarktspezifischen Risikoprämie

9.1.9 Objektspezifische Risikoprämie

Projekt	Makrolagen-rating	Makrolagen-zuschlag	Mikrolagen-/ Objektrating	Mikrolagen-/ Objektzuschlag	Nutzungszu-schlag
1	1.50	0.225%	1.80	0.200%	0.000%
2	1.60	0.270%	2.20	0.300%	0.000%
3	1.20	0.090%	1.76	0.190%	0.000%
4	1.30	0.135%	1.74	0.185%	0.000%
5	1.90	0.405%	1.99	0.248%	0.000%
6	1.00	0.000%	1.95	0.238%	0.000%

Tabelle 9: Zusammensetzung der objektspezifischen Risikoprämie

9.1.10 Bauverzögerungen

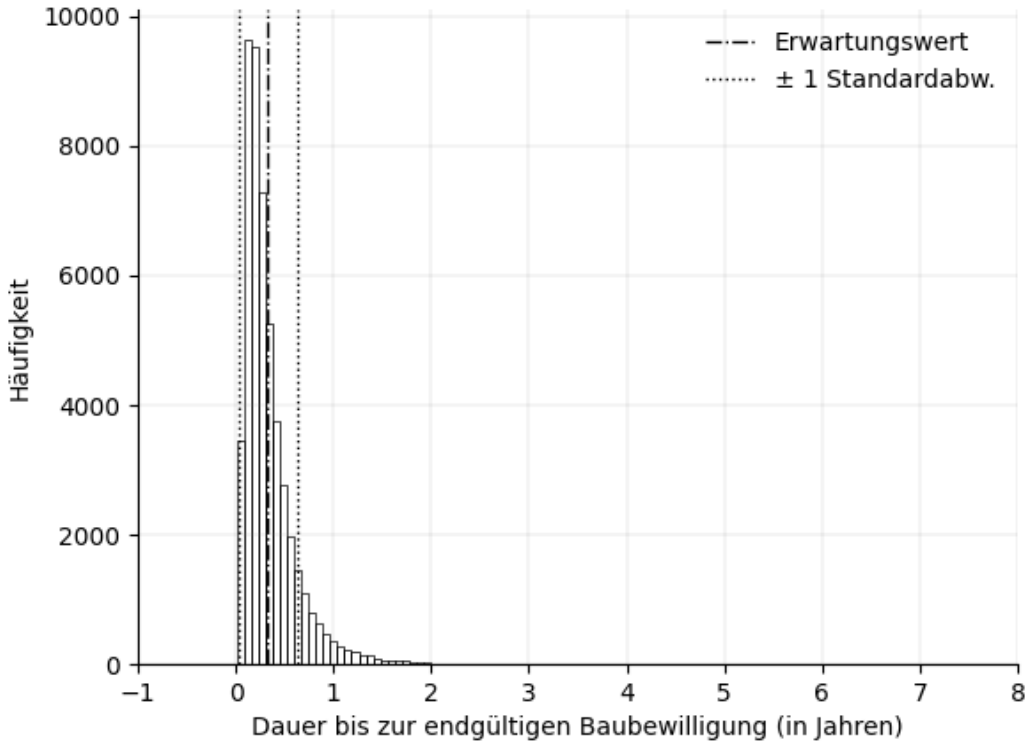

Abbildung 14: Absolute Häufigkeitsverteilung der effektiven Bewilligungsdauer von Projekt 5

9.2 Ergebnisse

9.2.1 Projekt 1

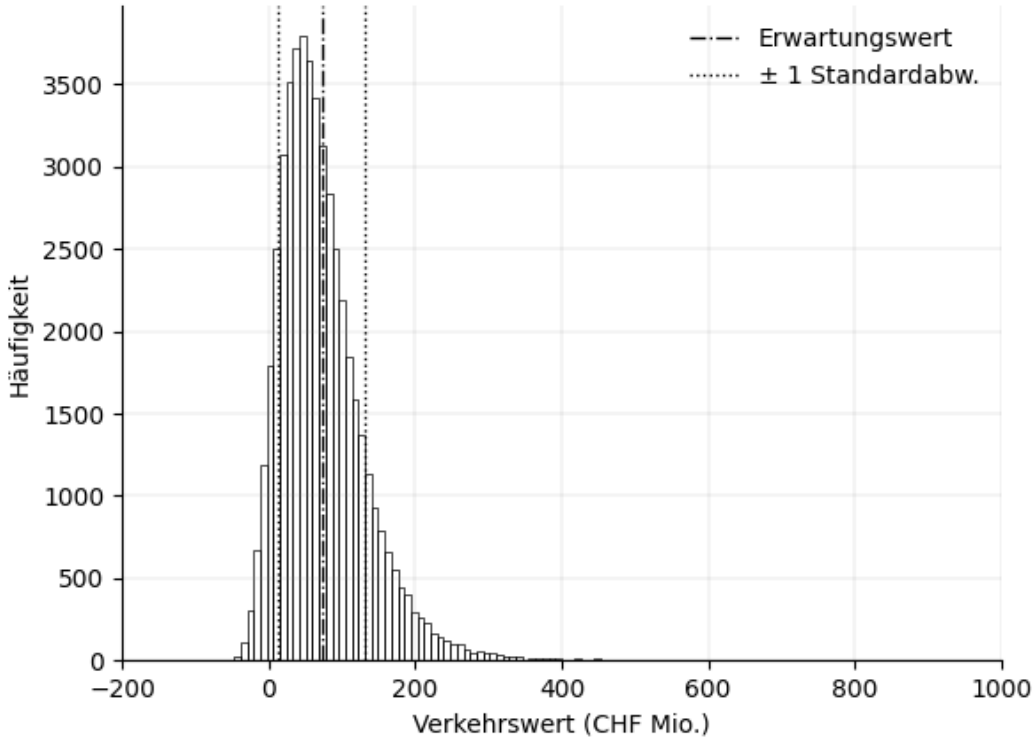

Abbildung 15: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 1

9.2.2 Projekt 2

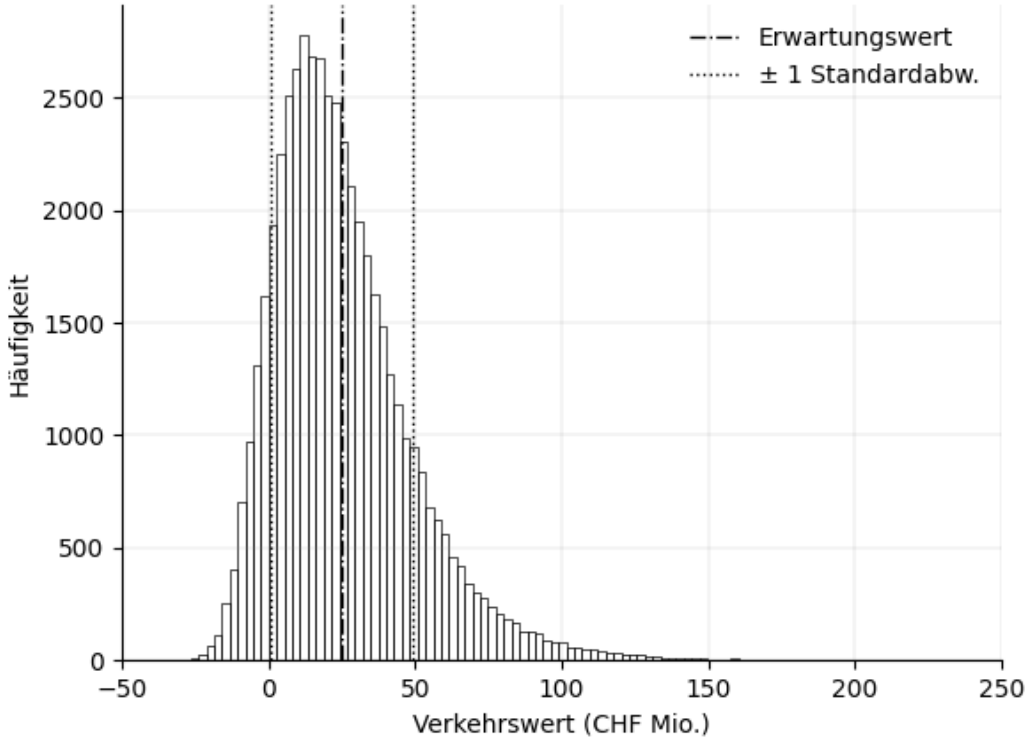

Abbildung 16: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 2

9.2.3 Projekt 3

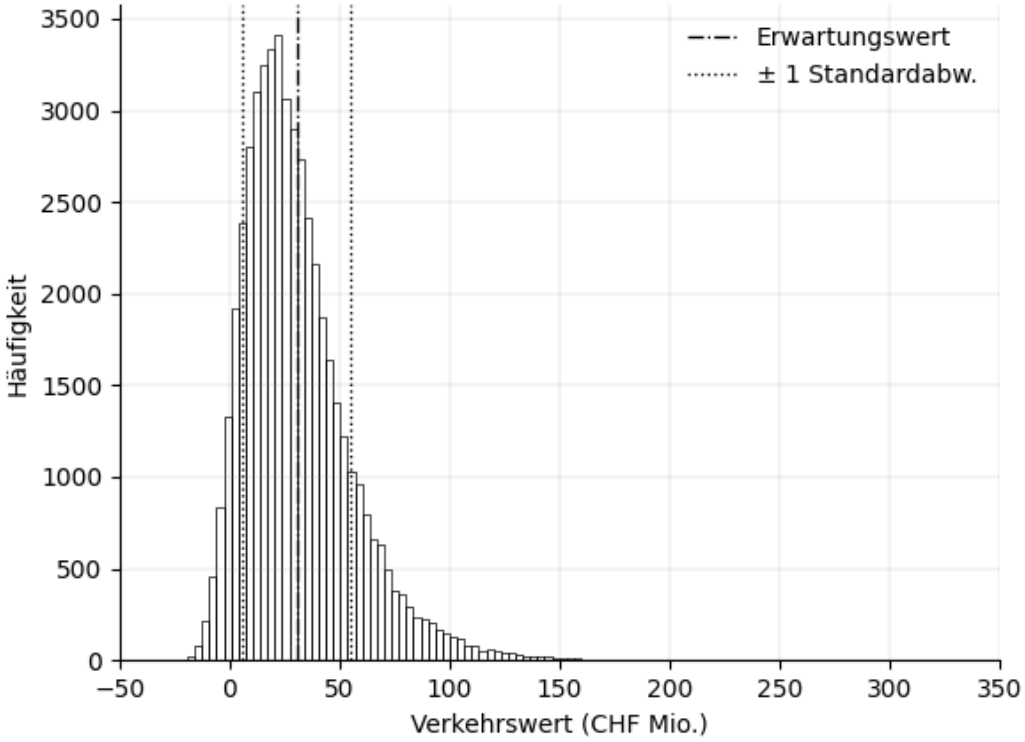

Abbildung 17: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 3

9.2.4 Projekt 4

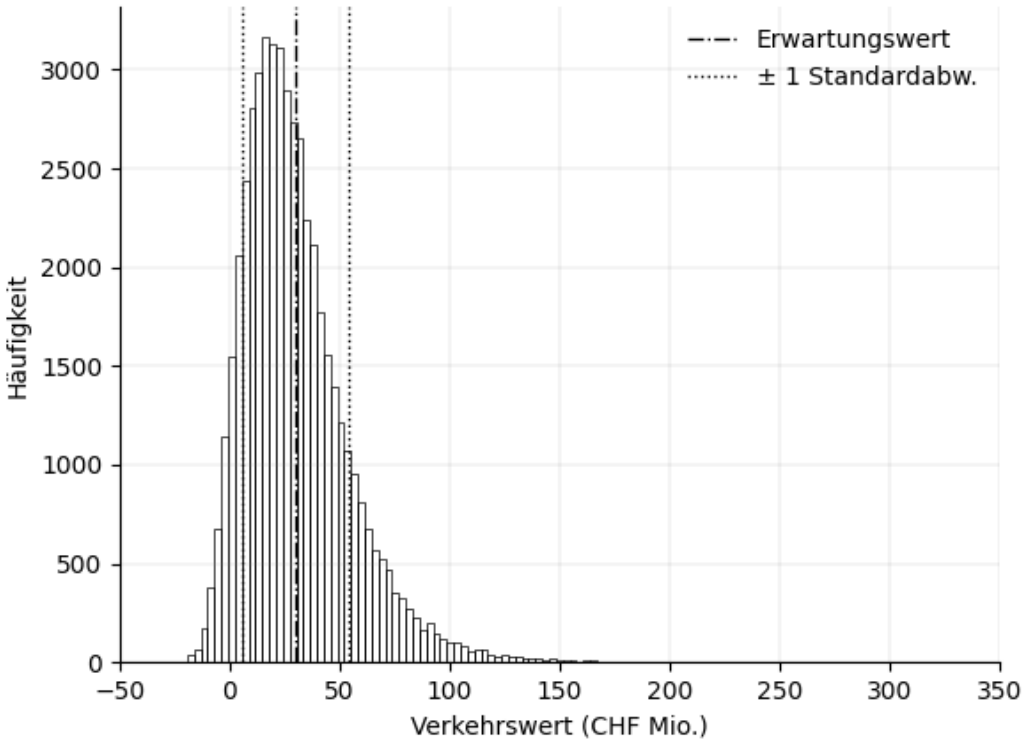

Abbildung 18: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 4

9.2.5 Projekt 5

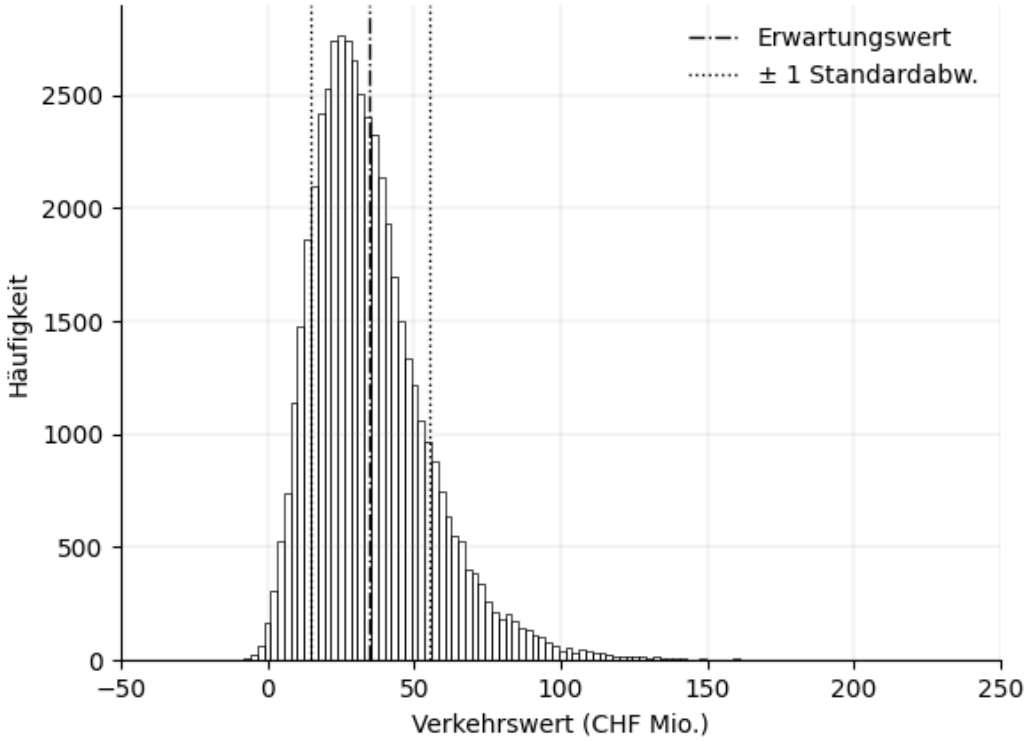

Abbildung 19: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 5

9.2.6 Projekt 6

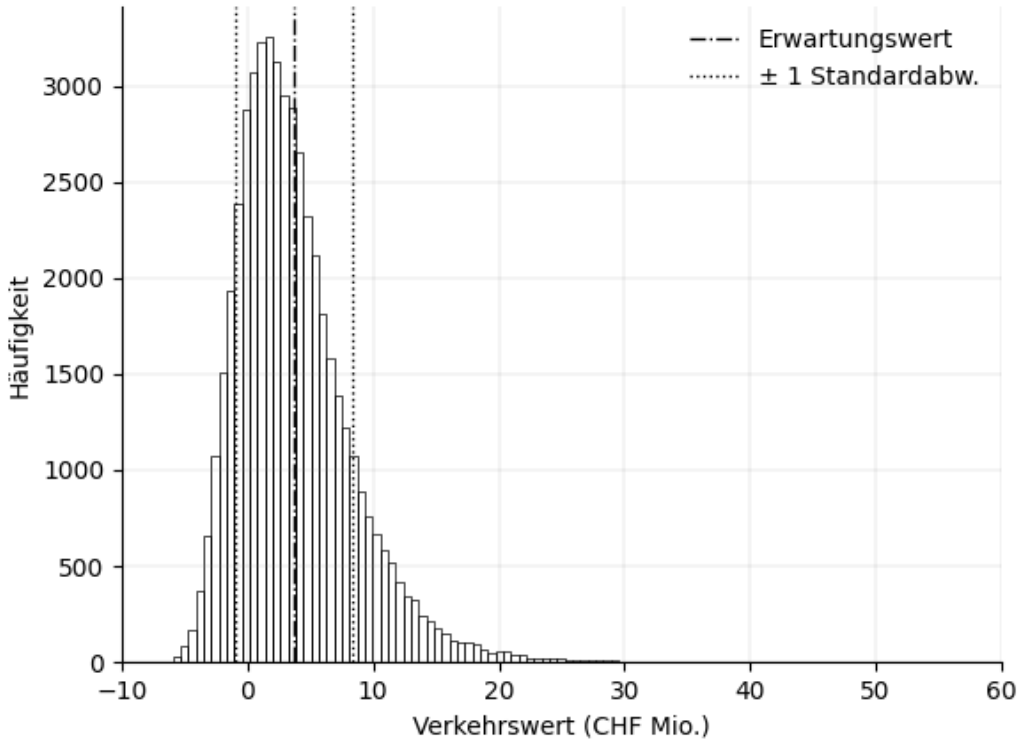

Abbildung 20: Absolute Häufigkeitsverteilung der Verkehrswerte von Projekt 6

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „Projektentwicklungsbewertung mit Monte-Carlo-Simulationen: Risikoanalyse und Entscheidungsunterstützung“ 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.

Uster, den 09.09.2024

Claude Giger