

Neue  
Betriebswirtschaftliche  
Studienbücher

Band 42

David Sebastian Shkel

---

# Zur Berücksichtigung des Modellrisikos bei der Bewertung strukturierter Finanzprodukte



Berliner  
Wissenschafts-Verlag



# Zur Berücksichtigung des Modellrisikos bei der Bewertung strukturierter Finanzprodukte

Inauguraldissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät  
für Wirtschaftswissenschaft der FernUniversität in Hagen

Vorgelegt von

David Sebastian Shkel

aus Duisburg

Dezember 2019

Erstgutachter: Prof. Dr. Rainer Baule  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Andreas Kleine  
Tag der Disputation: 23. April 2020

Zur Berücksichtigung des Modellrisikos bei  
der Bewertung strukturierter Finanzprodukte

---

# **Neue Betriebswirtschaftliche Studienbücher**

Begründet von Prof. Dr. Hans-Dieter Deppe †

Herausgegeben von

Prof. Dr. Rainer Baule, Prof. Dr. Wolfgang Benner,  
Prof. Dr. Thomas Burkhardt, Prof. Dr. Oliver Entrop,  
Prof. Dr. Jan Körnert, Prof. Dr. Karl Lohmann,  
Prof. Dr. Hendrik Scholz, Prof. Dr. Ursula Walther,  
Prof. Dr. Marco Wilkens

Band 42

David Sebastian Shkel

---

# Zur Berücksichtigung des Modellrisikos bei der Bewertung strukturierter Finanzprodukte



Berliner  
Wissenschafts-Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtes ist unzulässig und strafbar.

Diese Veröffentlichung erscheint mit freundlicher Unterstützung  
der FernUniversität in Hagen.

© 2020 BWV | BERLINER WISSENSCHAFTS-VERLAG GmbH,  
Behaimstraße 25, 10585 Berlin,  
E-Mail: [bwv@bwv-verlag.de](mailto:bwv@bwv-verlag.de), Internet: <http://www.bwv-verlag.de>

Druck: docupoint, Magdeburg  
Gedruckt auf holzfreiem, chlor- und säurefreiem, alterungsbeständigem Papier.  
Printed in Germany.

ISBN Print 978-3-8305-5042-6  
ISBN E-Book 978-3-8305-4208-7

Для Лизаветы



# Geleitwort

Zur Bewertung derivativer Finanzprodukte wird ein Bewertungsmodell benötigt. Kern eines solchen Modells ist die Beschreibung des Verhaltens des Basiswerts des Derivats über einen stochastischen Prozess. Die bahnbrechenden Arbeiten von Black, Scholes und Merton in den 1970er Jahren unterstellten dabei zunächst eine geometrische Brownsche Bewegung, also einen Prozess mit konstanter Volatilität. Wie sich aber schnell zeigte, ist diese Annahme zur Beschreibung realer Aktienkurse zu vereinfachend: Phasen hoher Schwankungsintensität wechseln sich mit ruhigeren Phasen ab, mitunter treten große schockartige „Kurssprünge“ auf, und die Volatilität selbst gehorcht gewissen stochastischen Gesetzmäßigkeiten.

In der Folgezeit wurde eine Reihe von weiterentwickelten Modellen präsentiert, die diese Beobachtungen aufgreifen. Hierzu gehören Ansätze mit vom Kurs der zugrunde liegenden Aktie abhängiger Volatilität, mit stochastischer Volatilität, mit expliziten Sprüngen im Aktienkurs sowie als eines der neuesten Konzepte mit fraktionalem Volatilitätsverhalten. Da keiner dieser weiterentwickelten Ansätze als etablierter Standard zu sehen ist, stellt sich für einen Anwender die Frage nach der Wahl des „richtigen“ Modells. Mehr noch ist des Weiteren die Bestimmung der Parameter, also die Modellkalibrierung, alles andere als trivial.

Dabei orientiert sich die Modellkalibrierung an Marktpreisen für gehandelte Derivate – dies sind in der Regel einfache Call- und Put-Optionen. Für solche Plain-Vanilla-Optionen ist die Frage nach einem Bewertungsmodell daher weitgehend obsolet, so man auf die Fähigkeiten des Marktes zur effizienten Preisfindung vertraut. Hohe Relevanz bekommt die Modellwahl immer dann, wenn für die zu bewertenden derivativen Produkte kein liquider Markt existiert, wie es für die allermeisten komplexen Optionen der Fall ist.

Diese Thematik steht im Zentrum der vorliegenden Dissertationsschrift von Herrn Shkel. Im Gegensatz zu vielen anderen Arbeiten zum Modellrisiko im Bereich der Derivatebewertung, die sich auf fiktive, synthetische Produkte beziehen, beleuchtet er mit dem Kleinanlegermarkt für strukturierte Finanzprodukte ein wesentliches rea-

les Handelssegment. Als erste umfassende Studie dieser Art liefert die Arbeit somit Erkenntnisse über die Bedeutung der Modellwahl bei konkreten Bewertungsproblemen.

Die Ergebnisse sind sowohl von hohem wissenschaftlichen wie auch praktischen Interesse. Aus wissenschaftlicher Sicht erweitert die Arbeit den Kenntnisstand über die Wirkung von Prozessannahmen und Kalibrierungsansätzen auf Modellpreise. Für Anbieter bzw. Händler von komplexen Derivaten ist die Wahl eines adäquaten Bewertungsmodells ein alltägliches Problem – sie erhalten mit den durchgeführten Analysen weitere Orientierungshilfen. Schließlich ist das Modellrisiko auch für die Nachfrageseite, insbesondere für Kleinanleger, von Bedeutung: Wie Herr Shkel mit seiner Forschung nachweist, wird die Unsicherheit über den zu stellenden Produktpreis häufig auf die Anleger überwältigt, indem diese bei höherem Modellrisiko einen höheren Preis zahlen müssen.

Somit ist zu vermuten, dass die Arbeit eine hohe Aufmerksamkeit nicht nur in der akademischen Fachwelt, sondern auch in Praktikerkreisen erfahren wird. Die Lektüre ist jedermann zu empfehlen, der sich tiefergehend mit fortgeschrittenen Modellen zur Derivatebewertung auseinandersetzen möchte. Dies gilt insbesondere auch deswegen, weil die Dissertation eine kompakte Zusammenstellung der heute gebräuchlichen Verfahren bietet: ausgehend von den Anfängen des Black/Scholes-Modells über das Modell lokaler Volatilität, das Heston-Modell mit stochastischer Volatilität sowie das Bates-Modell mit Sprüngen bis hin zu jüngeren Ansätzen wie dem verallgemeinerten Varianz-Gamma-Modell sowie dem Bergomi-Modell mit „rauer“ Volatilität, die erst seit wenigen Jahren im akademischen Diskurs Einzug gehalten hat und seitdem eine rasante Verbreitung auch unter Praktikern erfährt. Auch für nachfolgende Generationen von Studenten und Doktoranden dürfte die Arbeit eine wertvolle Orientierungshilfe im Dschungel der Modellwelten darstellen.

Hagen, im April 2020

Rainer Baule

# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bank- und Finanzwirtschaft an der FernUniversität in Hagen. Gerade zu Beginn meiner Promotionszeit konnte ich mir nicht vorstellen, welcher langer Weg bis zur Abgabe und anschließender Disputation vor mir liegt. Auch wenn das Ziel erreicht ist und das Resultat überaus erfreulich ist, war der Weg dorthin nicht immer leicht und von Höhen und Tiefen geprägt.

Mitunter stellen sich vermeintlich positive Ergebnisse Monate später als irrelevant heraus oder zunächst vielversprechende Ansätze verlaufen ins Leere. Aber diese und ähnliche Dinge lernt man mit der Zeit richtig einzuordnen. Gleiches gilt auch für Erfolge – man lernt die erzielten Ergebnisse angemessen einzuschätzen. Damit die Promotion erfolgreich beendet werden konnte, war es notwendig sich selbst und die eigene Arbeit ständig zu hinterfragen und somit die eigene Forschung stetig zu verbessern. Dies gelang mir jedoch nur, weil ich mich mit einem ungemein interessanten Themengebiet beschäftigen konnte.

Um ein solch großes Projekt erfolgreich beenden zu können, sind neben Motivation und einer interessanten Fragestellung jedoch weitere Dinge von Nöten. Dazu zählt eine gute Ausbildung, welche ich glücklicherweise an der Universität Ulm genießen durfte. Auf die Beschäftigung mit ökonomischen Fragestellungen, an der Grenze zur Finanzmathematik, wurde ich durch mein Studium der Wirtschaftsmathematik hervorragend vorbereitet. An dieser Stelle möchte ich mich daher stellvertretend bei Hajo Zwiesler und Norbert Heidenbluth für die gute Lehre bedanken.

Die gute Ausbildung allein hätte allerdings nicht ansatzweise ausgereicht. Zusätzlich brauchte es fachliche und vor allem auch menschliche Unterstützung. Diese habe ich von meinen aktuellen und ehemaligen Kollegen in Hagen glücklicherweise immer bekommen. Mein Dank gilt daher:

- Milena Tieves, dafür, dass ich einen Freund fürs Leben gefunden habe und mit dir Lachen, Weinen und manchmal sogar beides gleichzeitig kann.

- Sebastian Wessels, für deinen Blick auf die Wissenschaft und für viel Spaß auf gemeinsamen Konferenzreisen.
- Patrick Münchhelfen, für die Erkenntnis, dass viele Wege zum Ziel führen.
- Michael Naumann, für deinen klaren Blick auf die Dinge und deine direkte Art.
- Hannes Wilke, für viele gemeinsame grün-weiße Erinnerungen.
- Zsuzsanna Csapó, für dein Lachen, welches augenblicklich für gute Laune sorgt.
- Jasmin Mazurek, für deine unermüdliche Unterstützung abseits der Forschung.

Außerdem danke ich Karin Niehoff, Philip Blonski, Florian Borchard, Philip Rosenthal, Sebastian Schlie und Falk Jensen, sowie meinem Zweitprüfer Andreas Kleine und meinem Drittprüfer Karsten Kieckhäfer. Der FernUniversität in Hagen danke ich für die Förderung meiner wissenschaftlichen Ausbildung, so wurden mir durch Zuschüsse Konferenzteilnahmen und die Veröffentlichung dieser Dissertation ermöglicht.

Zudem gebührt Rainer Baule mein tiefster Dank und dies nicht nur dafür, dass er mir die Chance gegeben hat zu promovieren. Nicht nur dafür, dass er mich auf meinem Weg unterstützt hat und mir mit Rat und Tat zur Seite stand. Nicht nur dafür, dass er mir die Teilnahme an einer Reihe weiterer wissenschaftlicher Aktivitäten – wie etwa Konferenzreisen und Workshops – ermöglicht hat. Danken möchte ich ihm vor allem für sein Vertrauen, sein Entgegenkommen und seine Unkompliziertheit gerade in schwierigen Phasen.

Darüber hinaus haben mich außerhalb der Wissenschaft noch viele Menschen auf meinem Weg begleitet. So durfte ich dank meiner Schwestern Rebecca Rakowski und Jana Rakowski früh lernen mich durchzusetzen. Meine Mutter Anneliese Rakowski hat stets in meine Fähigkeiten vertraut und mich dabei unterstützt meinen eigenen Weg zu gehen. Wie wichtig gerade dieses Vertrauen war, habe ich erst wirklich realisiert, als ich Vater wurde. Danke für alles. Auch dem Rest meiner Familie sage ich hiermit herzlichst Dankeschön. Meinen Schwiegereltern Larissa und Viktor Shkel möchte ich ebenfalls danken. Zuallererst für ihre wunderbare Tochter und zudem für jegliche Unterstützung, die wir im Laufe der Zeit erfahren haben. Außerdem bin ich Victoria Noever dankbar für viele gemeinsame Jahre und eine lange Freundschaft.

Meiner Tochter Jasmine danke ich dafür, mir die Welt noch einmal mit neuen Augen gezeigt zu haben. Zudem helfen dein Lachen und deine Neugier über alle Probleme hinweg. Der letzte, zugleich aber größte Dank, gilt meiner Frau Lizaveta, ohne die ich es vermutlich nicht einmal bis zum Vordiplom geschafft hätte. Du hast mein wahres Potential geweckt und immer an mich geglaubt. Danke, dass wir diesen Weg bis hierhin gemeinsam gehen konnten. Ich freue mich auf alles, was noch kommt. In dir habe ich den Menschen gefunden, den ich zum Leben brauche.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	xvii
Tabellenverzeichnis . . . . .	xxi
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	xxiii
Verzeichnis der wichtigsten Symbole . . . . .	xxv
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Modellrisiko . . . . .	4
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	12
<b>2 Derivative Finanzprodukte</b>	<b>19</b>
2.1 Derivate – Begriffsbestimmung . . . . .	20
2.2 Optionen . . . . .	21
2.2.1 Optionstypen . . . . .	21
2.2.1.1 Plain-Vanilla-Optionen . . . . .	21
2.2.1.2 Barriere-Optionen . . . . .	24
2.2.1.3 Multi-Asset-Optionen . . . . .	25
2.2.2 Optionsbewertung . . . . .	26
2.2.2.1 Allgemeine Bewertungsgrundlagen . . . . .	26
2.2.2.2 Put-Call-Parität . . . . .	31

2.2.2.3	Allgemeine analytische Bewertungsformeln für Kaufoptionen . . . . .	32
2.3	Strukturierte Finanzprodukte . . . . .	34
2.3.1	Produktuniversum . . . . .	34
2.3.2	Märkte für strukturierte Finanzprodukte . . . . .	40
2.3.3	Preisstellung auf Märkten für strukturierte Finanzprodukte . .	46
<b>3</b>	<b>Aktienkurse, Volatilität und Korrelationen</b>	<b>51</b>
3.1	Volatilitätsbestimmung . . . . .	52
3.1.1	Zum Volatilitätsbegriff . . . . .	52
3.1.2	Historische Volatilität . . . . .	52
3.1.3	Implizite Volatilität . . . . .	54
3.1.3.1	Definition und Bestimmung . . . . .	54
3.1.3.2	Eigenschaften – Volatilitätssmile und Volatilitätsskew	55
3.1.3.3	Arbitragefreiheit . . . . .	57
3.1.4	Modellfreie implizite Volatilität . . . . .	59
3.2	Korrelationsbestimmung . . . . .	65
3.2.1	Historische Korrelation . . . . .	65
3.2.2	Implizite Korrelation . . . . .	66
3.3	Empirische Eigenschaften von Aktienkurs-, Volatilitäts- und Korrelationsprozessen . . . . .	69
3.3.1	Eigenschaften von Aktienkursprozessen . . . . .	69
3.3.1.1	Heavy Tails . . . . .	69
3.3.1.2	Gewinn/Verlust-Asymmetrie . . . . .	71
3.3.1.3	Sprünge . . . . .	72
3.3.2	Eigenschaften von Volatilitätsprozessen . . . . .	74
3.3.2.1	Volatilitätsclustering . . . . .	74
3.3.2.2	Mean-Reversion . . . . .	75
3.3.2.3	Eigenschaften des ATM-Volatilitätsskews . . . . .	76

3.3.2.4	Skalierungsverhalten der Volatilität . . . . .	79
3.3.2.5	Verteilung der logarithmierten Renditen der Volatilität	81
3.3.3	Gemeinsame Eigenschaften mehrerer Prozesse . . . . .	83
3.3.3.1	Leverage-Effekt . . . . .	83
3.3.3.2	Asymmetrische Korrelation . . . . .	84
<b>4</b>	<b>Bewertungsmodelle</b>	<b>87</b>
4.1	Stochastische Prozesse . . . . .	88
4.1.1	Allgemeine Definition . . . . .	88
4.1.2	Lévy-Prozesse . . . . .	89
4.1.3	Fraktionale stochastische Prozesse . . . . .	92
4.2	Bewertungsmodelle . . . . .	94
4.2.1	Black-Scholes-Merton-Modell . . . . .	94
4.2.2	Lokales Volatilitätsmodell . . . . .	98
4.2.3	Heston-Modell . . . . .	100
4.2.3.1	Single-Asset-Modell . . . . .	100
4.2.3.2	Multi-Asset-Modell . . . . .	102
4.2.4	Bates-Modell . . . . .	104
4.2.5	Raues Bergomi-Modell . . . . .	106
4.2.5.1	Single-Asset-Modell . . . . .	106
4.2.5.2	Multi-Asset-Modell . . . . .	107
4.2.6	Lévy-Modelle . . . . .	109
4.2.6.1	Varianz-Gamma-Modell . . . . .	109
4.2.6.2	Verallgemeinertes $\alpha$ -Varianz-Gamma-Modell . . .	110
4.3	SSVI-Parametrisierung . . . . .	113
<b>5</b>	<b>Simulation und Modellkalibrierung</b>	<b>117</b>
5.1	Monte-Carlo-Simulation . . . . .	118
5.1.1	Konvergenzordnung . . . . .	118

5.1.2	Diskretisierungsschemata . . . . .	119
5.1.3	Antithetische Zufallszahlen . . . . .	120
5.1.4	Richardson-Extrapolation . . . . .	121
5.1.5	Wahrscheinlichkeit der Barriereberührung . . . . .	123
5.1.6	Sprünge . . . . .	124
5.1.7	Korrelierte Zufallszahlen . . . . .	126
5.1.8	Projektion von Korrelationsmatrizen . . . . .	126
5.1.9	Lévy-Prozesse . . . . .	128
5.1.10	Hybrid-Schema . . . . .	129
5.1.11	Übersicht der verwendeten Verfahren . . . . .	131
5.2	Modellkalibrierung . . . . .	132
5.2.1	Differential-Evolution-Algorithmus . . . . .	132
5.2.2	Kalibrierung des lokalen Volatilitätsmodells . . . . .	134
5.2.3	Kalibrierung des Heston- und des Bates-Modells . . . . .	137
5.2.4	Kalibrierung des Multi-Asset-Heston-Modells . . . . .	139
5.2.5	Kalibrierung des rauen Multi-Asset-Bergomi-Modells . . . . .	140
5.2.6	Kalibrierung des $\alpha$ VG-Modells . . . . .	141
<b>6</b>	<b>Empirische Analyse von Bonus-Zertifikaten</b>	<b>143</b>
6.1	Datengrundlage . . . . .	144
6.2	Kalibrierungsrisiko . . . . .	148
6.2.1	Kalibrierungsrisiko im Black-Scholes-Merton-Modell . . . . .	148
6.2.2	Kalibrierungsrisiko im Heston-Modell . . . . .	151
6.3	Modellrisiko . . . . .	154
6.3.1	Modellkalibrierung und Parameterschätzung . . . . .	154
6.3.2	Verteilung und Determinanten des Modellrisikos . . . . .	158
6.4	Modellwahl . . . . .	166
6.4.1	Analyse auf Basis einzelner Modelle . . . . .	166

6.4.2	Analyse auf Basis der Kombination zweier Modelle . . . . .	168
6.5	Margenanalyse . . . . .	172
6.5.1	Analyse der Margenhöhe . . . . .	172
6.5.2	Analyse der Einflussfaktoren . . . . .	177
6.6	Zwischenfazit . . . . .	184
<b>7</b>	<b>Empirische Analyse von Multi-Asset-Produkten</b>	<b>187</b>
7.1	Studiendesign . . . . .	188
7.2	Kalibrierungsergebnisse . . . . .	189
7.3	Modellrisiko bei synthetischen Multi-Asset“-Optionen . . . . .	195
7.3.1	Modellrisiko für einfache Multi-Asset-Optionen . . . . .	195
7.3.1.1	Modellrisiko für Worst-of-Calls auf zwei Basiswerte unter Verwendung historischer Korrelationen . . . . .	195
7.3.1.2	Paarweise Differenzen der Modellpreise . . . . .	197
7.3.1.3	Modellrisiko unter Verwendung historischer und impliziter Korrelationen . . . . .	199
7.3.1.4	Modellrisiko für Best-of-Calls . . . . .	203
7.3.1.5	Modellrisiko für einfache Multi-Asset-Optionen auf drei Basiswerte . . . . .	208
7.3.2	Modellrisiko für Worst-of-down-and-in-Puts . . . . .	209
7.3.2.1	Modellrisiko unter Verwendung historischer Korrelationen . . . . .	209
7.3.2.2	Paarweise Differenzen der Modellpreise . . . . .	214
7.3.2.3	Modellrisiko unter Verwendung historischer und impliziter Korrelationen . . . . .	216
7.4	Empirische Analyse von Multi-Barrier-Reverse-Convertibles . . . . .	218
7.4.1	Datenbasis . . . . .	218
7.4.2	Analyse des Modellrisikos für Multi-Barrier-Reverse-Convertibles . . . . .	220
7.4.3	Analyse der Emittentenmargen für Multi-Barrier-Reverse-Convertibles . . . . .	223

7.4.4	Analyse der Unterschiede zwischen Zertifikaten mit der häufigsten Basiswertkombination und sonstigen Zertifikaten . . .	229
7.5	Zwischenfazit . . . . .	231
<b>8</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>233</b>
8.1	Studienübergreifendes Fazit . . . . .	233
8.2	Ausblick . . . . .	237
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>241</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Auszahlungsprofil eines Multi-Barrier-Reverse-Convertibles . . . . .	37
2.2	Auszahlungsprofil eines Bonus-Zertifikats. . . . .	39
2.3	Auszahlungsprofil eines gekappten Bonus-Zertifikats. . . . .	40
2.4	Marktvolumen des deutschen und des Schweizer Marktes für strukturierte Finanzprodukte . . . . .	43
2.5	Komponenten des Marktpreises eines strukturierten Finanzprodukts. . . . .	47
3.1	Volatilitätssmile für den DAX . . . . .	58
3.2	Histogramm der täglichen logarithmierten DAX-Renditen . . . . .	71
3.3	Vergleich der Beträge positiver und negativer täglicher logarithmierter DAX-Renditen . . . . .	72
3.4	Darstellung der täglichen logarithmierten Renditen des DAX . . . . .	75
3.5	Darstellung der täglichen Schlusskurse des DAX und des VDAX-New . . . . .	76
3.6	Darstellung des ATM-Skews in Abhängigkeit der Optionslaufzeit . . . . .	77
3.7	Darstellung des ATM-Skews in Abhängigkeit des Levels der Volatilität am Geld . . . . .	78
3.8	Darstellung des Logarithmus der empirischen $q$ -ten Stichprobenmomente der stetigen Rendite der realisierten Varianz des DAX, sowie die Abbildung der Werte für $\zeta_q$ in Abhängigkeit von $q$ . . . . .	80
3.9	Darstellung des Verlaufs von fraktionalen Brownschen Bewegungen mit verschiedenen Hurst-Exponenten . . . . .	81
3.10	Histogramm der Verteilung der Renditen der realisierten DAX-Volatilität . . . . .	83

5.1	Darstellung des Verfahrens der Richardson-Extrapolation . . . . .	122
6.1	Histogramm des Modellrisikos bei der Bewertung von Bonus-Zertifikaten unter Verwendung des BSM-Modells . . . . .	151
6.2	Histogramm der Differenzen der Zertifikatspreis unter Verwendung unterschiedlicher Kalibrierungen des Heston-Modells . . . . .	153
6.3	Darstellung der kalibrierten Parameter des Heston-Modells im Zeitverlauf	156
6.4	Darstellung der kalibrierten Parameter des Bates-Modells im Zeitverlauf . . . . .	157
6.5	Darstellung einer kalibrierten lokalen Volatilitätsfläche für den DAX .	158
6.6	Histogramm des Modellrisikos bei der Bewertung von Bonus-Zertifikaten	159
6.7	Abhängigkeit des Modellrisikos vom relativen Produktalter der Zertifikate. . . . .	160
6.8	Abhängigkeit des Modellrisikos vom relativen Abstand zur Barriere. .	162
6.9	Abhängigkeit des Modellrisikos von der Spanne der Wahrscheinlichkeiten die Barriere zu erreichen. . . . .	164
6.10	Gemeinsame Abhängigkeit des mittleren Modellrisikos vom relativen Abstand zur Barriere und vom relativen Produktalter. . . . .	165
7.1	Darstellung des Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises für Worst-of-Calls basierend auf zwei Underlyings und historischen Korrelationen . . . . .	196
7.2	Darstellung der paarweisen Differenzen der drei Modelle in Abhängigkeit des Basispreises für Worst-of-Calls basierend auf zwei Underlyings . . . . .	198
7.3	Darstellung der paarweisen Differenzen der Optionspreise unter Verwendung historischer und impliziter Korrelationen, in Abhängigkeit des Basispreises für Worst-of-Calls basierend auf zwei Underlyings .	200
7.4	Darstellung des Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises für Worst-of-Calls basierend auf zwei Underlyings und unter gemeinsamer Verwendung historischer und impliziter Korrelationen . . . . .	203
7.5	Darstellung des Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises für Best-of-Calls basierend auf zwei Underlyings und historischen Korrelationen . . . . .	204

7.6	Darstellung der paarweisen Differenzen der drei Modelle in Abhängigkeit des Basispreises für Best-of-Calls basierend auf zwei Underlyings . . . . .	206
7.7	Darstellung der paarweisen Differenzen der Optionspreise unter Verwendung historischer und impliziter Korrelationen . . . . .	207
7.8	Darstellung des Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises für Best-of-Calls basierend auf zwei Underlyings und gemeinsamer Verwendung historischer und impliziter Korrelationen . . . . .	208
7.9	Darstellung des Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises für Worst-of- und Best-of-Calls basierend auf drei Underlyings und historischen Korrelationen . . . . .	209
7.10	Darstellung des absoluten Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises und der Barriere für Worst-of-down-and-in-Puts basierend auf drei Underlyings und historischen Korrelationen . . . . .	211
7.11	Darstellung des relativen Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises und der Barriere für Worst-of-down-and-in-Puts basierend auf drei Underlyings und historischen Korrelationen . . . . .	213
7.12	Detaillierte Darstellung des relativen Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises und der Barriere für Worst-of-down-and-in-Puts basierend auf drei Underlyings, historischen Korrelationen und einer Laufzeit von 90 Kalendertagen . . . . .	214
7.13	Darstellung der paarweisen Differenzen der drei Modelle in Abhängigkeit des Basispreises und der Barriere für Worst-of-down-and-in-Puts basierend auf drei Underlyings und historischen Korrelationen . . . . .	215
7.14	Darstellung der paarweisen Differenzen der Optionspreise unter Verwendung historischer und impliziter Korrelationen, in Abhängigkeit des Basispreises und der Barriere für Worst-of-down-and-in-Puts basierend auf drei Underlyings . . . . .	217
7.15	Darstellung des absoluten Modellrisikos und des relativen Modellrisikos in Abhängigkeit des Basispreises und der Barriere für Worst-of-down-and-in-Puts basierend auf drei Underlyings, sowie historischen und impliziten Korrelationen . . . . .	218
7.16	Darstellung des Modellrisikos für MBRCs in Abhängigkeit von der Cushion und vom relativen Produktalter . . . . .	222
7.17	Darstellung der Emittentenmargen für MBRCs auf Basis des rauen Bergomi-Modells in Abhängigkeit vom relativen Produktalter. . . . .	223

7.18	Darstellung der Emittentenmargen für MBRCs auf Basis des Heston-Modells und des $\alpha$ VG-Modells in Abhängigkeit vom relativen Produktalter. . . . .	225
7.19	Emittentenmargen für MBRCs auf Basis des rauen Bergomi-Modells in Abhängigkeit vom relativen Produktalter. . . . .	226
7.20	Darstellung der Emittentenmargen für MBRCs auf Basis des rauen Bergomi-Modells in Abhängigkeit von der Cushion. . . . .	228
7.21	Darstellung der Emittentenmargen für MBRCs auf Basis des rauen Bergomi-Modells in Abhängigkeit vom Modellrisiko. . . . .	229
7.22	Darstellung des Modellrisikos für MBRCs in Abhängigkeit von der Cushion, mit Unterscheidung zwischen Hauptprodukten und sonstigen Produkten. . . . .	230
7.23	Darstellung der Margen für MBRCs auf Basis des rauen Bergomi-Modells in Abhängigkeit von dem relativen Produktalter, mit Unterscheidung zwischen Hauptprodukten und sonstigen Produkten. . . . .	231

# Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht des europäischen Marktes für strukturierte Finanzprodukte im ersten Quartal 2019 . . . . .	41
2.2	Übersicht des deutschen Marktes für strukturierte Finanzprodukte zum 30. April 2019 . . . . .	42
2.3	Übersicht des Schweizer Marktes für strukturierte Finanzprodukte im ersten Quartal 2019 . . . . .	44
4.1	Erstes Moment sowie zweites bis viertes zentrales Moment der Normalverteilung, der Gamma-Verteilung und der Varianz-Gamma-Verteilung.	91
5.1	Übersicht der einzelnen Modelle und der im Zusammenhang mit diesen Modellen verwendeten Simulationstechniken. . . . .	132
5.2	Initiale Intervallgrenzen für die Parameter des Heston- und des Bates-Modells. . . . .	139
6.1	Zertifikatsdaten, getrennt nach klassischen und gekappten Bonus-Zertifikaten und Emittenten. . . . .	145
6.2	Übersicht der Modellparameter des Heston-Modells, basierend auf der Kalibrierung an alle verfügbaren Optionsdaten und ausschließlich an Standard-Optionsserien. . . . .	152
6.3	Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Untersuchung der Modellwahl, getrennt nach klassischen und gekappten Bonus-Zertifikaten und Emittenten. . . . .	169
6.4	Gegenseitiger paarweiser Einfluss der Rendite eines Referenzmodells und der dazu orthogonalisierten Rendite eines Kontrollmodells. . . . .	171

6.5	Emittentenmargen, getrennt nach klassischen und gekappten Bonus-Zertifikaten und Emittenten. . . . .	174
6.6	Korrelationen zwischen den erklärenden Variablen Cushion, Restlaufzeit, Duplikate und Modellrisiko, getrennt nach klassischen und gekappten Bonus-Zertifikaten und Emittenten. . . . .	178
6.7	Ergebnisse der Regressionen zur Erklärung der Margen, getrennt nach klassischen und gekappten Bonus-Zertifikaten und Emittenten. . . . .	180
7.1	Ergebnisse der Kalibrierung des Heston-Modells an die 20 Unternehmen des SMI am 24. September 2018. . . . .	191
7.2	Ergebnisse der Kalibrierung des rauen Bergomi-Modells an die 20 Unternehmen des SMI am 24. September 2018. . . . .	192
7.3	Ergebnisse der Kalibrierung des $\alpha$ VG-Modells an die 20 Unternehmen des SMI am 24. September 2018. . . . .	193
7.4	Übersicht der Werte des Verschiebungsparameters $\alpha_t$ und der daraus resultierenden durchschnittlichen Verschiebungen der Korrelationsparameter. . . . .	201
7.5	Nach Emittenten getrennte Zertifikatsdaten für MBRCs. . . . .	220
7.6	Modellrisiko für MBRCs, getrennt nach Emittenten. . . . .	222

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ARCH</b>	Autoregressive Conditional Heteroscedasticity
<b>ATM</b>	At-the-money
<b>BHP</b>	barrier hit probability
<b>BSM-Modell</b>	Black-Scholes-Merton-Modell
<b>CBOE</b>	Chicago Board Options Exchange
<b>CEV-Modell</b>	Constant-elasticity-of-variance-Modell
<b>COSI</b>	Collateral Secured Instruments
<b>cp</b>	clean price
<b>CRD</b>	Capital Requirements Directive
<b>DAX</b>	Deutscher Aktienindex
<b>DDV</b>	Deutscher Derivate Verband
<b>EONIA</b>	Euro OverNight Index Average
<b>eSSVI</b>	extended surface stochastic volatility inspired
<b>ESTR</b>	Euro Short Term Rate
<b>Eurex</b>	European Exchange
<b>EUSIPA</b>	European Structured Investment Products Association
<b>Euwax</b>	European Warrant Exchange
<b>GARCH</b>	Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity
<b>IEV</b>	Issuer Estimated Value
<b>MBRC</b>	Multi-Barrier-Reverse-Convertible
<b>OTC</b>	Over the counter
<b>PRIIPs</b>	Packaged retail and insurance-based investment products
<b>RMSE</b>	Root-Mean-Square-Error
<b>SABR-Modell</b>	Stochastic-Alpha-Beta-Rho-Modell
<b>SIX</b>	Swiss Exchange
<b>SMI</b>	Swiss Market Index

<b>SSVI</b>	surface stochastic volatility inspired
<b>SVI</b>	stochastic volatility inspired
<b>SVSP</b>	Schweizerischer Verband für Strukturierte Produkte
<b>VDAX-New</b>	Volatilitätsindex zum Deutschen Aktienindex
<b>VG-Modell</b>	Varianz-Gamma-Modell
<b><math>\alpha</math>VG-Modell</b>	Verallgemeinertes $\alpha$ -Varianz-Gamma-Modell
<b>VIX</b>	Volatilitätsindex zum S&P 500

# Verzeichnis der wichtigsten Symbole

$\alpha_i$	Parameter des $i$ -ten Basiswertes im $\alpha$ -Varianz-Gamma-Modell
$\alpha_t$	Verschiebungsparameter zur Bestimmung impliziter Korrelationen
$B$	Barriere
$\beta_{cush}$	Regressionskoeffizient der Cushion
$\beta_{dup}$	Regressionskoeffizient der binären Duplikatsvariable
$\beta^{modell}$	Regressionskoeffizient der Modellrendite
$\beta^{modell2}$	Regressionskoeffizient der orthogonalisierten Modellrendite
$\beta_\psi$	Regressionskoeffizient des Modellrisikos
$\beta_{RLZ}$	Regressionskoeffizient der Restlaufzeit
$BHP$	Wahrscheinlichkeit die Barriere zu druchbrechen
$BL$	Bonuslevel
$b_i$	Parameter des $i$ -ten Basiswertes im $\alpha$ -Varianz-Gamma-Modell
$C(T, K)$	Wert einer Kaufoption mit Basispreis $K$ und Laufzeit $T$
$c_1$	Gemeinsamer Parameter der Basiswerte im $\alpha$ -Varianz-Gamma-Modell
$cush_{i,t}$	Cushion des $i$ -ten Produkts an Tag $t$
$dup_{i,t}$	Indikatorvariable, welche anzeigt, ob Duplikate zum $i$ -ten Produkt an Tag $t$ vorliegen
$E_Q(\cdot)$	Erwartungswert in der risikoneutralen Welt
$\eta$	Varianz der Varianz im Heston-, Bates- und Bergomi-Modell
$F_T$	Forwardpreis eines Forward-Kontrakts mit Fälligkeit in $T$

$H$	Hurst-Koeffizient
$K$	Basispreis
$\kappa$	Anpassungsgeschwindigkeit im Heston- und Bates-Modell
$\lambda$	Intensität des Sprungprozesses im Bates-Modell
$M_{i,t}$	Marge des $i$ -ten Produkts an Tag $t$
$m(q, \Delta)$	$q$ -tes Stichprobenmoment der logarithmierten Renditen der Volatilität zu einem Zeitschritt der Länge $\Delta$
$mr^i$	Modellrisiko für das $i$ -te Produkt
$\mu_J$	Erwartete Höhe der Sprünge im Bates-Modell
$\omega(k, T)$	Totale Varianz in Abhängigkeit der Moneyness $k$ und der Laufzeit $T$
$P$	Physisches Maß
$P(T, K)$	Wert einer Verkaufsoption mit Basispreis $K$ und Laufzeit $T$
$\psi_{i,t}$	Modellrisiko des $i$ -ten Produkts an Tag $t$
$\psi_S(T)$	ATM-Volatilitätsskew für die Laufzeit $T$
$Q$	Risikoneutrales äquivalentes Martingalmaß
$r$	Risikofreier kontinuierlicher Zinssatz
$r_{i,t}^{markt}$	Rendite des $i$ -ten Produkts an Tag $t$ auf Basis von Marktpreisen
$r_{i,t}^{modell}$	Rendite des $i$ -ten Produkts an Tag $t$ auf Basis von Modellpreisen
$r_{i,t}^{modell2\perp}$	Orthogonalisierte Rendite des $i$ -ten Produkts an Tag $t$ auf Basis von Modellpreisen
$\rho$	Korrelation zwischen Basiswertkurs- und Varianzprozess im Heston-, Bates- und Bergomi-Modell
$\rho_{ij,t}^P$	Historische Korrelation zwischen den Basiswerten $i$ und $j$
$\rho_{ij,t}^Q$	Modellfreie implizite Korrelation zwischen den Basiswerten $i$ und $j$
$RLZ_{i,t}$	Restlaufzeit in Jahren des $i$ -ten Produkts an Tag $t$
$S_t$	Basiswertkurs zum Zeitpunkt $t$
$\sigma$	Volatilitätsparameter im Black-Scholes-Merton-Modell
$\sigma_i$	Parameter des $i$ -ten Basiswertes im $\alpha$ -Varianz-Gamma-Modell
$\sigma_{M,t}^Q$	Modellfreie implizite Volatilität für den Markt $M$ zum Zeitpunkt $t$
$\sigma(S_t, t; S_0)$	Volatilitätsparameter im lokalen Volatilitätsmodell
$\theta$	Langfristiges Mittel der Varianz im Heston- und Bates-Modell