Integrierte Markt- und Kreditrisikomessung für Handelsportfolios

Einzel Bachelor-Thesis

Zürcher Fachhochschule

HWZ Hochschule für Wirtschaft Zürich

eingereicht bei:

Mario Clerici, dipl. Math. & Dr. sc. techn. ETH

vorgelegt von: Christian Zeman

Studiengruppe: FH BWI A06

Adresse: In der Wässeri 39, 8047 Zürich

Zürich, 25. Februar 2010

Zusammenfassung

Der Besitz von Wertpapieren ist mit diversen Risiken verbunden, was nicht zuletzt die Subprime-Krise gezeigt hat. Zu diesen Risiken gehören unter anderem das Kredit- und das Marktrisiko. Während das Marktrisiko durch sich ändernde Zinsen oder Wechselkurse entsteht, stellt beim Kreditrisiko der Ausfall eines Wertpapier-Emittenten den Risikofaktor dar.

Zur Messung werden die Bonds eines Portfolios zuerst zum aktuellen Zeitpunkt bewertet und kalibriert. Danach werden die Szenarien generiert. Dies sind Returns auf den Zinskurven, die basierend auf Vergangenheitsdaten erzeugt, auf eine bestimmte Haltedauer hochskaliert, und schliesslich zu den aktuellen Zinsen dazu gerechnet werden.

Das Marktrisiko stellt den potentiellen Wertverlust eines Bonds durch diese sich geänderte Zinsen dar, und der Verlust durch das Kreditrisiko kann im Mittel für ein bestimmtes Rating auch unter Verwendung der simulierten Zinsen berechnet werden. Aggregiert auf ein Portfolio entsteht dadurch eine Gewinn-/Verlustverteilung, von welcher der VaR ein Quantil bei einem bestimmten Konfidenzniveau ist.

Die theoretisch beschriebene integrierte Kredit- und Marktrisikomessung wurde anschliessend mit MATLAB implementiert. Mit dieser Implementation wurden die Risiken von drei sich in der Qualität der Bonds unterscheidenden Portfolios berechnet und verglichen.

Als Kennzahl kann für beide Risiken der Value at Risk (VaR) verwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich bestätige hiermit, dass

- die vorliegende Bachelor-Thesis selbständig durch den Verfasser und ohne Benützung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt wurde,
- die benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich als solche kenntlich gemacht wurden; und
- diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungskommission vorgelegt wurde.

Zürich, 25. Februar 2010

Christian Zeman

Vorwort

Das Thema ”Risikomessung“ hat in der Finanzbranche spätestens seit der letzten Finanzkrise einen leicht negativen Beigeschmack. Trotzdem habe ich mich entschieden, meine Bachelor-Thesis über dieses Thema zu schreiben.

Der Grund dafür ist nicht, dass ich schon länger bei einer Grossbank arbeite. Denn trotz meiner Beschäftigung in dieser Branche habe ich mich vor der Bachelor-Thesis kaum mit der Risikomessung bei Banken auseinandergesetzt. Der Grund dafür liegt viel mehr an meiner Faszination für Zufallsexperimente, die unter anderem auch in der Kredit- und Marktrisikomessung angewendet werden. Die Umstände, dass das Thema gerade wegen der Finanzkrise hochaktuell ist und ich - jetzt kommt es - langjähriger Mitarbeiter einer Grossbank bin, haben dann den definitiven Ausschlag zu dieser Themenwahl gegeben. Durch meine Tätigkeit als Informatiker lag es schliesslich nahe, eine eigene Kredit- und Marktrisikomessung auch zu implementieren.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Referenten, Herrn Dr. Mario Clerici, bedanken, der sich sehr viel Zeit für die Betreuung genommen hat und mit seinem guten Unterricht an der HWZ erst mein Interesse an dieser Thematik geweckt hat.

Ebenso bedanke ich mich bei meiner Familie für die Unterstützung und möchte mich in diesem Zusammenhang auch gleich dafür entschuldigen, dass ich mich in den Skiferien wegen dieser Arbeit öfters vor dem abendlichen Kartenspiel gedrückt habe.

Nun wünsche ich Ihnen aber eine spannende und aufschlussreiche Lektüre.

Glossar

Accrued Interest	Aufgelaufene Zinsen bei einem Bond. Der Accrued Interest stellt die Differenz zwischen dem *Dirty* und dem *Clean Price* dar.
Adjustable Rate Mortgage	Eine Hypothek, bei welcher der Zinssatz laufend am Wert einer Auswahl von Indices angepasst wird. In Folge der Subprime-Krise wurden vor allem die "2/28 Adjustable Rate Mortgage (ARM)" berühmt, bei welchen der Zinssatz für die ersten zwei Jahre fix und sehr tief ist und erst danach variabel wird.
Bond	Verzinsliches Wertpapier (z.B. Obligation, Anleihe, Pfandbrief). Der Käufer erwirbt nicht wie bei Aktien Eigenkapital des Unternehmens, sondern gewährt diesem Fremdkapital.
Bonität	Bezeichnet die Kreditwürdigkeit einer natürlichen Person, eines Unternehmens oder eines Staates. Im Wertpapier-Bereich wird darunter die Fähigkeit des Emittenten verstanden, die Zinsen fortlaufend zu zahlen und die Emission nach Ablauf der Laufzeit zurückzuzahlen. Je höher die Bonität des Emittenten, umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass er diesen Anforderungen nachkommt. Bonitäten werden als Rating von Rating-Agenturen wie Moody's oder Standard & Poor's festgelegt.
Cash Flow	Geldfluss: Dies kann die Zahlung des *Issue Price*, eines *Coupons* oder des *Nominals* sein.
Cash Flow Stream	Summe aller *Cash Flows* eines Bonds.
Clean Price	Preis eines Bonds, bei welchem die aufgelaufenen Zinsen nicht berücksichtigt werden. Der Clean Price wird wie der *Dirty Price* in Prozent des *Nominals* angegeben.

Coupon	Der Zins, welcher der Herausgeber an den Halter zahlen muss. Normalerweise ist diese Rate fix, kann aber auch variieren (z.B. LIBOR). Der Coupon wird in einer bestimmten Periodizität ausbezahlt (z.B. jedes Quartal, halbjährlich, jährlich).
Credit Default Swap	Ein Credit Default Swap (CDS) ist eine Kontrakt, bei welchem der Käufer eine Serie von Zahlungen an den Verkäufer macht und, zum Ausgleich, eine grosse Zahlung erhält, falls ein Kreditinstrument (z.B. Bond) ausfällt (Default). Er kann als eine Art Versicherung angesehen werden. Allerdings unterscheidet ihn von einer üblichen Versicherung, dass der Käufer dieser "Versicherung" nicht im Besitz des versicherten Wertpapiers sein muss. Der Handel mit Credit Default Swaps wird auch nicht über die Börse, sondern *Over the Counter* geführt.
Credit Spread	Renditezuschlag, den Investoren bei einer Anlage in ausfallrisikobehaftete Anleihen erhalten. Durch den Credit Spread wird der Anleger für die mit der Investition eingegangenen Risiken entschädigt.
Default	Ausfall eines Kreditnehmers oder spezifischer: des Emittenten.
Derivat	Ein Finanzinstrument, dessen Wert von Handelsgütern (z.B. Rohstoffe), Wertpapieren oder marktbezogenen Referenzgrössen (Zinssätze, Indices) abhängig ist.
Dirty Price	Gesamtpreis eines Bonds, der die aufgelaufenen Zinsen beinhält. Der Dirty Price wird in Prozent des *Nominals* angegeben und entspricht multipliziert mit den Nominal dem Marktpreis, mit welchem der Bond an der Börse gehandelt wird.
Emission	Öffentliche Ausgabe eines Wertpapiers auf einem Kapitalmarkt.
Emittent	Herausgeber eines erstmals in Umlauf gebrachten Wertpapiers.
Face Value	Nominalpreis des Bonds. Basierend auf diesem wird der Zins bezahlt, und der Käufer erhält diesen Wert nach Ablauf der Laufzeit zurück.

Fixed-Income Securities	Wertpapier, das einen fixen Zins abwirft.
Future	Verbindliches Termingeschäft zwischen zwei Parteien, bei dem vereinbart wird, dass eine Partei der anderen Partei zu einem zukünftigen Zeitpunkt etwas für einen schon festgelegten Betrag abkauft.
Hedgefonds	Spekulativer Fond, welcher Chancen auf sehr hohe Renditen hat. Typisch für Hedgefonds ist der Einsatz von Derivaten, Leerverkäufen und Hebeln (Fremdfinanzierung, was weniger Eigenkapitaleinsatz nötig macht).
Interest Rate Swap	Ein Derivat, bei welchem eine Partei den Geldfluss von Zinszahlungen gegen den Geldfluss einer anderen Partei austauscht. Meist wird ein variabler Geldfluss gegen einen fixen Geldfluss (Swap Rate) getauscht.
Issue Price	Ausgabepreis eines Bonds. Dieser kann - muss aber nicht - dem Face Value entsprechen (exklusive Gebühren).
Leerverkauf	Ein Marktteilnehmer verkauft einen Gegenstand, welcher ihm noch gar nicht gehört. Dabei wird auf sinkende Preise spekuliert. Ein Leerverkauf wird auch als "Short-Position" bezeichnet.
London Interbank Offered Rate	Der LIBOR ist ein täglich festgelegter Referenzzinssatz für das Interbankengeschäft. Er wird jeweils um 11:00 Uhr fixiert.
Maturity Date	Datum, an welchem der Herausgeber den Nominal an den Käufer zurückzahlen muss.
Monte-Carlo-Simulation	Ein Verfahren aus der Stochastik, bei welchem Werte durch sehr häufig durchgeführte Zufallsexperimente geschätzt werden.
Nominal	siehe Face Value
Notional Amount	Betrag, der bei einem Credit Default Swaps im Falle des Defaults vom Verkäufer an den Käufer gezahlt werden muss.
Over the Counter	Handel, der nicht über die Börse abläuft.

Present Value	Momentaner Wert eines Geldflusses mit *Cash Flows* in der Zukunft. Zur Berechnung des Present Values werden zukünftige Geldflüsse abgezinst.
Principal	siehe *Face Value*
Rating	siehe *Bonität*
Rating-Migration	Änderung des *Ratings* eines Marktteilnehmers.
Recovery Rate	Prozentsatz des Kreditbetrags, der im Falle eines Kreditausfalls (Default) zurückerstattet werden kann.
Return	Änderung eines Zinses/Spreads über eine bestimmte Haltedauer (üblicherweise 1 Tag).
Senior Bond	Bond mit hoher Priorität im Falle eines Konkurses des Herausgebers. Die *Recovery Rate* ist dementsprechend höher als bei einem *Subordinated Bond*.
Subordinated Bond	Bond von geringerem Gewicht bei einem allfälligen Konkurs des Herausgebers. Bonds mit höherer Priorität werden *Senior Bonds* genannt.
Subprime Hypothek	Subprime Hypotheken sind für private Zwecke ausgestellte Hypotheken, welche an Kreditnehmer mit geringer Bonität ausgestellt werden.
Swap Rate	Der Zins des fixen Geldflusses, welcher bei einem *Interest Rate Swap* getauscht wird. Der *LIBOR* wird zur Bestimmung des Zinses oft als Referenz genommen.
Value at Risk	Verlust, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (meist 99%) nicht überschritten wird.
Zero-Coupon Bond	Bond, bei welchem kein eigentlicher Zins gezahlt wird (kein Coupon). Der *Issue Price* ist aber bedeutend tiefer als der *Face Value*, was den Zins ersetzt.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage und Problemstellung

Die Subprime-Krise, die im Jahr 2007 ihren Lauf nahm, ist zum grössten Teil überstanden, und der stark in Mitleidenschaft gezogene Markt erholt sich langsam. Trotzdem ist die Krise als Thema noch lange nicht vom Tisch. Häufig wird noch darüber diskutiert, was für Fehler gemacht worden sind und wie man eine Krise von solchem Ausmass hätte verhindern können.

Ein wichtiger Aspekt bei diesem Thema ist die Risikomessung. Bei dieser werden die Risiken, denen ein Finanzunternehmen ausgesetzt ist, quantifiziert. Dies erscheint vielleicht etwas unnatürlich, denn eigentlich hat jeder Mensch tagtäglich mit allen möglichen Arten von Risiken zu tun und kann diese meist abschätzen, ohne dass er Spezialisten oder Ergebnisse von komplexen Simulationen zu Rate ziehen muss. Was macht also die Risikomessung für Banken und andere grosse Finanzdienstleister so schwierig und trotzdem aber unentbehrlich? Der Hauptgrund dafür ist wohl, dass in einem hochkomplexen Markt mit immensen Summen gehandelt wird.

Der Essayist, Forscher und frühere Finanzmathematiker Nassim Nicholas Taleb hat unser Verhältnis zur Risikomessung und -vermeidung einmal folgendermassen ausgedrückt:

"It is now the scientific consensus that our risk-avoidance mechanism is not mediated by the cognitive modules of our brain, but rather by the emotional ones. This may have made us fit for the Pleistocene era. Our risk machinery is designed to run away from tigers; it is not designed for the information-laden modern world."[1]

Die vielen Informationen, die ein Finanzdienstleister besitzt, müssen also irgendwie in einfachen Kennzahlen zusammengefasst werden, so dass die Risiken quantifiziert werden können, deren Veränderung verfolgt und wenn nötig gehandelt werden kann.

[1] Taleb Nassim Nicholas (2004), *"A Talk with Nassim Nicholas Taleb"*, `http://www.edge.org/3rd_culture/taleb04/taleb_index.html`, 20.02.2010

1.2. Zielsetzung und inhaltliche Abgrenzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Grundlagen der Kredit- und Marktrisikomessung zu erläutern, ein einfaches Modell zur Messung aufzustellen und dieses dann schliesslich auch zu implementieren. Durch die Implementation sollen dann bei drei verschiedenen Handelsportfolios das Kredit- und das Marktrisiko gemessen und ausgewertet werden. Die Portfolios werden dabei selber aus von am Markt gehandelten Bonds zusammengestellt.

In dieser Arbeit wird nicht auf all die verschiedenen, schon vorhandenen, Modelle zur Kredit- und Marktrisiko eingegangen. Es wird ein relativ simples Modell gezeigt, welches von all den am Markt gehandelten Instrumenten nur die Bonds abdeckt. Dafür wird das Modell umgesetzt und in der Arbeit wird erläutert, wie die Umsetzung genau gemacht wurde. Die Implementation selber finden Sie auf der CD, die dieser Arbeit beigelegt ist.

1.3. Aufbau und methodische Vorgehensweise

Das Vorgehen für diese Arbeit lässt sich in folgende Schritte aufteilen:

1. Einlesen in Fachliteratur
2. Aufbau des Modells
3. Implementation des Modells
4. Risikomessung von verschiedenen Portfolios
5. Schriftlicher Teil

In Kapitel 2 werden die Grundlagen behandelt, und es wird auf die Hintergründe der Risikomessung eingegangen. Neben einem Abschnitt zu Basel II gibt es auch einen Abschnitt, in welchem auf die Subprime-Krise eingegangen wird.

Kapitel 3 beinhaltet den theoretischen Teil. Es wird gezeigt, wie die Marktdaten aufbereitet werden, was die Risikofaktoren sind, wie das Risikomodell aussieht und schliesslich wie die Risiken gemessen werden.

Die Umsetzung der in Kapitel 3 behandelten Theorie wird dann in Kapitel 4 beschrieben. Neben der Architektur werden die interessantesten Teilbereiche der Implementation gezeigt und erklärt.

Die für die verschiedenen Portfolios errechneten Kennzahlen sind in Kapitel 5 aufgeführt. Diese Resultate werden schliesslich basierend auf den verschiedenen Ausprägungen der Portfolios analysiert.

2. Grundlagen und Hintergründe

In diesem Kapitel werden einige Grundlagen behandelt. Es wird erklärt, was die Begriffe Kredit- und Marktrisiko bedeuten, was mit Basel II gemeint ist, und nicht zuletzt soll noch kurz auf die Subprime-Krise eingegangen werden.

2.1. Definition Risiko

Unter dem Begriff "Risiko" wird die Unsicherheit in Bezug auf zukünftige Ereignisse verstanden. Genauer: Das Risiko bezieht sich auf zukünftige Ereignisse, die für die involvierten Parteien einen negativen Ausgang haben könnten.

Mathematisch wird Risiko oft folgendermassen definiert:

$$\textit{Risiko} = \textit{Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses} * \textit{Verlust bei Eintritt des Ereignisses}$$

Im Finanzwesen gibt es viele Arten von Risiken wie zum Beispiel operationelle Risiken, das Länder- und Transfer-Risiko, das Marktrisiko, das Kreditrisiko oder auch das Liquiditätsrisiko. In dieser Arbeit wird nicht auf all diese Risiken eingegangen, sondern es werden zwei der für Finanzunternehmen wichtigsten Risiken behandelt: das Marktrisiko und das Kreditrisiko.

2.1.1. Kreditrisiko

Unter Kreditrisiko versteht man einen teilweisen oder vollständigen Ausfall einer Forderung. Dies passiert dann, wenn der Schuldner unwillig oder unfähig ist, die vertragsbedingten Zahlungen zu tätigen. Im Wertpapiergeschäft können folgende Risiken als Kreditrisiken klassifiziert werden:

- Der Schuldner zahlt den Zins nicht zur geforderten Zeit.
- Der Schuldner zahlt den Nominalbetrag nach Ablauf der Laufzeit nicht zurück.
- Das Rating des Schuldners wird herabgestuft.

Anzumerken ist, dass nicht jeder Zahlungsverzug sofort als Ausfall gewertet wird. Gemäss Basel II wird erst ein 90-tägiger Zahlungsverzug als Ausfall gewertet.[1]

Grundsätzlich wird zwischen endogenem und exogenem Kreditrisiko unterschieden.[2] Dem endogenen Risiko liegen bankinterne Regelungen der Kreditvergabe und Wertpapierhandelsgeschäften zugrunde. Das exogene Risiko umfasst die individuellen Risikofaktoren des Kreditnehmers. In dieser Arbeit wird ausschliesslich das exogene Kreditrisiko behandelt.

2.1.2. Marktrisiko

Marktrisiken entstehen durch Veränderungen von Marktpreisen. Unter Marktpreisen versteht man unter anderem Zinssätze, Wechselkurse, Aktienpreise und Edelmetallpreise. In dieser Arbeit besteht das Marktrisiko ausschliesslich aus dem Zinsrisiko. Wechselkurse werden ignoriert und alle Bonds haben den Euro als Währung. Das Zinsrisiko wird in die zwei Kategorien

- Einkommensrisiko und
- Vermögensrisiko

aufgeteilt.[3] Als Einkommensrisiko wird eine unterschiedliche Elastizität bei der Zinsanpassung auf Aktiv- und Passivseite bezeichnet. Hingegen bezieht sich das Vermögensrisiko mehr auf den Eigenhandel, indem es die veränderten Barwerte der Anlagen bei Marktzinsänderungen berücksichtigt. Ein festverzinslicher Bond verliert zum Beispiel normalerweise an Wert, wenn die Marktzinsen steigen.

In dieser Arbeit wird nur das Vermögensrisiko behandelt.

2.2. Risikomanagement

Unter Risikomanagement wird die systematische Erfassung und Messung von Risiken sowie die Steuerung von Massnahmen gegen zu hohe Risiken verstanden. Die Messung wird in dieser Arbeit noch ausführlich behandelt, und die grundsätzlichen Risiken für Finanzdienstleister werden im Abschnitt 2.1 angesprochen. Massnahmen gegen Risiken können sein:

- Risikovermeidung: Hier wird die Aktivität, die zu einem Risiko führt, komplett unterlassen. Dies kann natürlich nicht generell angewendet werden, da sonst gar

[1] vgl. Andreas Henking, Christian Bluhm und Ludwig Fahrmeir. *Kreditrisikomessung*. 1. Auflage. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag, 2006, S. 2.

[2] vgl. Mario Strassberger. *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*. 1. Auflage. Lohmar, Deutschland: Josef Eul Verlag, 2002, S. 28.

[3] vgl. ebd., S. 30.

nichts mehr getan werden dürfte. Für hochriskante Geschäfte kann dies aber durchaus Sinn machen.

- Risikoverminderung: Die Risikoverminderung ist ähnlich wie die Risikovermeidung, mit dem Unterschied, dass nicht alle Potentiale für ein Risiko ausgeschlossen werden, sondern nur einige, wodurch sich das Risiko vermindert.
- Risikoüberwälzung: Dies ist eine auch im Alltag sehr oft angewandte Massnahme. Das Risiko wird ausgelagert, so dass im Schadenfall jemand anders den Schaden tragen muss. Eine bekannte Art von Risikoüberwälzung sind Versicherungen. Im Kreditgeschäft werden zur Risikoüberwälzung zum Beispiel Credit Default Swaps eingesetzt, bei denen im Falle eines Konkurses eines Unternehmens ein einmaliger, grosser Betrag an den Inhaber dieses Credit Default Swaps bezahlt wird. Es versteht sich von selbst, dass eine solche Auslagerung von Risiken auch mit Kosten verbunden ist (wie zum Beispiel bei der Versicherung).
- Risikobegrenzung: Risiken können begrenzt werden, indem diversifiziert oder limitiert wird. Bei der Diversifikation, welche auf der Portfolio-Theorie basiert, wird das Risiko durch wenig korrelierende Anlagen in einem Portfolio begrenzt. Bei der Limitierung werden Limiten - also Obergrenzen - für das Risiko gesetzt.
- Risikoakzeptanz: Hier wird das Risiko akzeptiert und im Schadenfall muss für den Schaden aufgekommen werden. Verminderte oder begrenzte Risiken müssen zum Beispiel akzeptiert werden, da eine Vermeidung entweder nicht möglich gewesen ist oder vom Aufwand her nicht sinnvoll gewesen wäre.

2.3. Basel II

Die Basler Papiere stellen aufsichtsrechtliche Richtlinien dar, welche jeweils vom Basler Ausschuss für Bankenaufsicht publiziert werden. Die Umsetzung der Richtlinien und die Überwachung derer Einhaltung liegen aber nicht in der Hand des Ausschusses, sondern bei den jeweiligen Staaten oder Staatenverbunden. In der Schweiz ist zum Beispiel die Eidgenössische Finanzmarktaufsicht (FINMA) für die Überwachung der gesetzlich festgehaltenen Richtlinien zuständig.

2.3.1. Geschichte

Als Auslöser für die ersten regulatorischen Richtlinien wird meist der Konkurs der Herstatt-Bank angesehen.[4] Die Herstatt-Bank musste im Juni 1974 infolge von Devisenspekulationen in die Insolvenz gehen. Als Folge davon verloren tausende Kunden ihre Einlagen. Zudem erhielten auch US-Banken ihre angeforderten Zahlungen nicht.

[4] vgl. Henking, Bluhm und Fahrmeir, *Kreditrisikomessung*, S. 3.

Dieses Ereignis führte dazu, dass die damaligen G-10 Staaten und Luxemburg 1974 den Basler Ausschuss für Bankenaufsicht gegründet haben. Dies ist ein Ausschuss, der regelmässig bei der Bank for International Settlements (BIS) in Basel zusammentritt. Im Jahr 1988 wurde von diesem Ausschuss der unter Basel I bekannte Baseler Akkord von 1988 ausgearbeitet, welcher verschiedene Empfehlungen zur Bankenaufsicht enthielt. Bedeutend waren vor allem die Eigenkapitalvorschriften für Kredite. Diese besagten, dass Kredite mit mindestens 8% Eigenkapital unterlegt werden müssen.[5] Als Kritikpunkt wurde jedoch aufgeführt, dass dieser Prozentsatz unabhängig von den Risiken der Kredite galt.[6] Dieser und andere Kritikpunkte führten dann zu Basel II, wo die Richtlinien von Basel I überarbeitet und ergänzt wurden. Veröffentlicht wurden die neuen Richtlinien erstmals im Juni 2004.[7]

2.3.2. Die 3 Säulen von Basel II

Basel II setzt drei Schwerpunkte, die gemeinhin die 3 Säulen genannt werden:

- Mindestkapitalanforderungen
- Bankaufsichtlicher Überprüfungsprozess
- Erweiterte Offenlegung

Bei den Mindestkapitalanforderungen geht es primär darum, dass Positionen gemäss ihres Risikos mit Eigenkapital zu unterlegen sind. Es sollen also nicht wie in Basel I unabhängig des Risikos immer 8% unterlegt werden, was viele Banken dazu verleitete, risikoarme Positionen durch riskantere Positionen zu ersetzen, da beide mit gleich viel Eigenmitteln zu unterlegen waren. Riskantere Posititonen müssen nun mit mehr Eigenkapital unterlegt werden, als risikoarme Positionen.

Der bankenaufsichtliche Überprüfungsprozess fordert, dass die Bankenaufsicht (in der Schweiz die FINMA) das Risikomanagement der Banken überwacht und beurteilt. Dabei werden zum Beispiel die Methoden zur Risikomessung und auch die Steuerung der Risiken (siehe Abschnitt 2.2) überprüft.

Der dritte Punkt, die erweiterte Offenlegung, fordert eine stärkere Offenlegung von Informationen der Bank in Berichten wie zum Beispiel den Quartalsberichten. Es müssen also diverse Kennzahlen und auch Strategien für das Risikomanagement offengelegt werden. Die Unternehmen sollen dadurch zu mehr Disziplin im Risikomanagement

[5] vgl. Basler Ausschuss für Bankenaufsicht. "Internationale Konvergenz der Eigenkapitalmessung und Eigenkapitalanforderungen". In: *Committee Publications* (Juli 1988), S. 1–22, S. 10.

[6] vgl. Henking, Bluhm und Fahrmeir, *Kreditrisikomessung*, S.3.

[7] Basler Ausschuss für Bankenaufsicht. "Internationale Konvergenz der Eigenkapitalmessung und Eigenkapitalanforderungen - Überarbeitete Rahmenvereinbarung". In: *Committee Publications* (Juni 2004), S. 1–236.

gezwungen werden, da ein grosses Risikopotential oder ungenügende Steuerungsmassnahmen zu einem Kurseinfall der Aktie führen könnten.

2.3.3. Entwicklung

Das Basler Komitee veröffentlicht regelmässig neue oder angepasste Rundschreiben, in welchen den neusten Entwicklungen im Finanzwesen Rechnung getragen wird. Die Richtlinien werden also ständig angepasst, wobei die Publikationen jeweils im Internet frei zum Download verfügbar sind.[8]

Es wird inzwischen schon an Basel III gearbeitet, wo die Erfahrungen aus Basel II und die Lehren aus der Finanzkrise einfliessen sollen.

2.4. Subprime-Krise

Der Vollständigkeit halber wird in dieser Arbeit noch kurz auf die Subprime-Krise, welche ab Mitte 2007 ihren Lauf nahm, eingegangen. Eine Finanzkrise, wie die Subprime-Krise, hängt stark damit zusammen, dass Risiken nicht erkannt, falsch gemessen oder auch ignoriert worden sind.

In den folgenden drei Abschnitten wird gezeigt, wie eine solche Finanzkrise generell zustande kommt und verläuft, wie die Subprime-Krise im Speziellen verlaufen ist und inwiefern die Krise Einfluss auf die heutige und zukünftige Risikomessung hat.

2.4.1. Exemplarische Kreditkrise

Kreditkrisen gleichen sich alle in bestimmten Punkten, und die Subprime-Krise stellt hier keine Ausnahme dar. Der typische Ablauf lässt sich gemäss Felsenheimer und Gisdakis[9] folgendermassen beschreiben (siehe auch Abbildung 2.1):

Übermässige Liquidität, welche häufig durch tiefe Kreditausfallraten und hohe Recovery Rates bedingt ist, führt zu einer exzessiven Kreditvergabe. Es werden Kredite mit langen Laufzeiten und tiefen Credit Spreads vergeben. Die tiefen Credit Spreads werden durch höhere Hebel (Anteil Fremdkapital zu Eigenkapital) kompensiert, was wiederum zu einem extrem hohen Risiko führt, da sehr wenig Eigenkapital zur Deckung von möglichen Ausfällen zur Verfügung steht. Dies führt zum Entstehen der sogenannten Kredit-Blase. Exogene Schocks (Umweltkatastrophen, Gesetzesänderungen, etc.) oder auch fundamentale Verschiebungen an der Börse können diese Blase

[8] siehe `http://www.bis.org/`

[9] vgl. Jochen Felsenheimer und Philip Gisdakis. *Credit Crisis*. First Edition. Weinheim, Deutschland: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008, S. 18-20.

zum Platzen bringen. Was zuerst nur einen Effekt auf die direkt betroffenen Produkte haben mag, kann sich später auf andere Finanzsegmente und schliesslich auf die ganze Wirtschaft ausweiten.

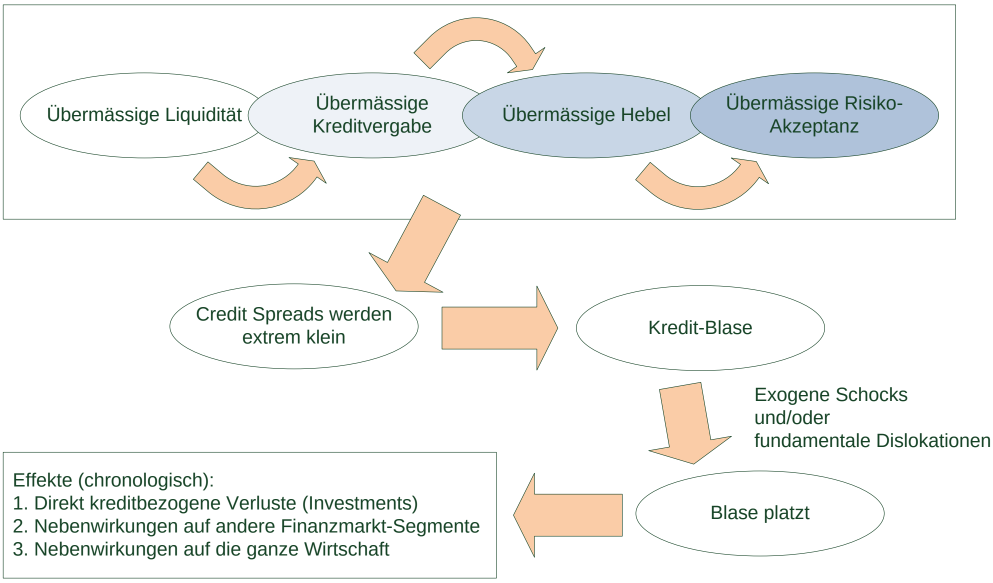

Abbildung 2.1.: Verlauf einer exemplarischen Kreditkrise
Quelle: "Eigene Aufbereitung in Anlehnung an Felsenheimer und Gisdakis 2008, S.19"

2.4.2. Ablauf der Subprime-Krise

Anstieg von Subprime-Hypotheken

In den Jahren 2003 bis 2006 gab es einen sehr starken Anstieg von Subprime-Hypotheken. Dies führte dazu, dass die Volumen Anfangs 2007 circa 20 bis 25% des gesamten US-Hypothekenmarktes ausmachten.[10] Dabei wurde spekuliert, dass die Immobilienpreise in den nächsten Jahren signifikant wachsen würden. Eine beliebte Arte der Hypothek war die sogenannte "2/28 Adjustable Rate Mortgage (ARM)". Bei dieser bleibt der Zinssatz für die ersten zwei Jahre auf sehr tiefem Niveau fix und wird dann - abhängig von bestimmten Indices - variabel. Dies führte dazu, dass sich viele Spekulanten ein Haus mittels einer solchen ARM finanzierten und darauf hofften, es in zwei Jahren für einen höheren Preis wieder verkaufen zu können.

[10]vgl. Felsenheimer und Gisdakis, *Credit Crisis*, S. 21.

Der Schock

Da sich die Immobilienpreise in den Jahren 2006 und 2007 nicht wie erhofft entwickelten, konnten Mitte 2007 sechs Millionen Subprime-Schuldner ihren ausstehenden Zahlungen nicht nachkommen.[11] Dies führte zu einer Krise in der Hypotheken-Sparte und weitete sich schnell auf den gesamten Bankensektor aus. Vor allem bestimmte Hedgefonds waren stark betroffen. So teilte zum Beispiel die Investmentbank Bear Stearns im Juli 2007 mit, dass zwei ihrer Hedgefonds fast keinen Wert mehr hatten.[12]

Einigen Banken drohte der Konkurs, der schliesslich oft nur durch staatliche Hilfe oder durch eine Übernahme der Konkurrenz verhindert werden konnte. Beispiele solcher Banken sind:

- die US-Hypothekenbanken Fannie Mae und Freddie Mac, die durch staatliche Zuschüsse gerettet wurden
- die IKB Deutsche Industriebank AG, die unter anderem staatliche Zuschüsse erhielt
- die Investmentbank Bear Stearns & Co Inc., die von JPMorgan Chase & Co. übernommen wurde
- die Investmentbank Lehman Brothers Inc., welche schliesslich Konkurs ging

Ausweitung auf die Wirtschaft

Da viele Banken Liquiditätsprobleme hatten, führte dies zu einer allgemeinen Verunsicherung in der Wirtschaft. Diese sogenannten 3.-Runden-Effekte (siehe Abbildung 2.1) sind auch im Verlauf des Dow Jones Industrial (Abbildung 2.2) ersichtlich. Um den Geldfluss anzukurbeln, entschieden sich viele Zentralbanken, den Leitzins drastisch zu senken. Zudem wurden verschiedentliche staatliche Hilfsmassnahmen getroffen, indem Staaten viel Geld in verschiedenste Wirtschaftssektoren investierten.

Aufschwung

Anfang 2009 begann sich die Wirtschaft - vor allem auch dank der staatlichen Hilfsmassnahmen - langsam zu erholen (siehe auch Abbildung 2.2). Man sollte sich allerdings nicht der Illusion hingeben, dass so eine Krise nie wieder passieren wird. Im Gegenteil: Finanzkrisen werden allgemein als normale Anpassungsprozesse angesehen, welche in regelmässigen Abständen passieren.[13]

[11] vgl. Felsenheimer und Gisdakis, *Credit Crisis*, S. 21.
[12] vgl. ebd., S. 28.
[13] vgl. ebd., S. 265.

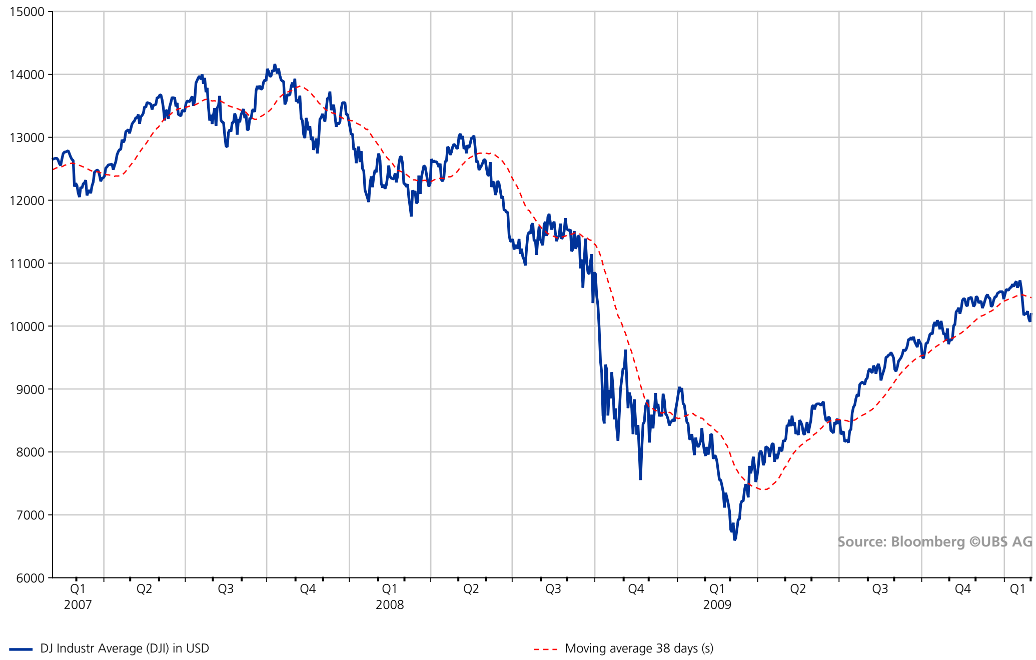

Abbildung 2.2.: Verlauf des DJ Industr Average (DJI), Quelle: UBS AG / Bloomberg

2.4.3. Fehler und Lehren

Der Finanz- und Wirtschaftsmarkt ist heutzutage so komplex, dass man unmöglich das ganze System durchschauen und steuern kann. Trotzdem hat man einige Fehler erkannt, welche mindestens mitverantwortlich für die Subprime-Krise waren. Neben vielen menschlichen Aspekten gab es auch für die Risikomessung relevante Aspekte. So wurden zum Beispiel die meisten Verluste nicht durch den üblichen 99%/10-Tages Value at Risk (VaR)[14] erfasst.[15] Die Verluste kamen grösstenteils nicht durch eigentliche Ausfälle (Defaults) zustande, sondern durch sogenannte Rating-Migrationen kombiniert mit Vergrösserungen der Credit Spreads und Verlust von Liquidität.[16] Als Folge davon wurden vom Basler Komitee (siehe Abschnitt 2.3) diverse neue Richtlinien zur Berechnung von bestimmten Risiko-Kennzahlen erlassen. Auf all diese Vorgaben wird jedoch nicht eingegangen, da dies den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

Die Erfahrungen der Finanzkrise werden auf jeden Fall auch in den zukünftigen Baseler Akkord (Basel III) einfliessen.

[14] Auf den VaR wird in dieser Arbeit noch eingegangen.
[15] vgl. Basler Ausschuss für Bankenaufsicht. “Guidelines for computing capital for incremental risk in the trading book”. In: *Committee Publications* (Juli 2009), S. 1–7, S. 1.
[16] vgl. ebd., S. 1.

3. Theoretischer Teil

In diesem Teil wird die Theorie für die nachher erstellte Monte-Carlo-Simulation behandelt. Es wird gezeigt, wie die Zinskurven zerlegt und Bonds bewertet werden. Zudem werden das Risikomodell definiert und die Methoden zur Risikomessung aufgezeigt.

3.1. Zinskurven

Als Basis dienen Zinskurven mit einer Historie vom 12.11.2007 bis zum 27.11.2009. Die Zinskurven sind aufgeteilt nach Rating/Kategorie:

- Interbanken (IB)
- Government (GOV)
- AAA
- AA
- A
- BBB

Der Interbanken-Zins setzt sich aus dem London Interbank Offered Rate (LIBOR) für kürzere Laufzeiten (weniger als 1 Jahr) und Swap Rates für Laufzeiten ab einem Jahr zusammen. Dies liegt daran, dass der LIBOR nur für Laufzeiten bis zu 12 Monaten festgelegt wird. Swap Rates, welche bei Interest Rate Swaps zum Austausch von fixen (den Swap Rates) und variablen Geldflüssen festgelegt werden, dienen oft als "Verlängerung" des LIBORs für längere Laufzeiten. Mehr zu den Termpunkten steht im Abschnitt 3.1.1.

Die Government-Zinsen werden aus Staatsanleihen gewonnen. In diesem Fall sind das Anleihen von Deutschland als Repräsentant für den Euro-Raum. Diese Zinsen werden also für Staatsanleihen von AAA-Staaten in Euro verwendet. Sogenannte Corporate-Zinsen mit den Ratings AAA, AA, A, BBB werden aus Firmenanleihen der entsprechenden Bonitäten gewonnen. Die genauen Angaben zu den verwendeten Marktdaten sind im Kapitel E zu finden.

Abbildung 3.1 zeigt als Beispiel den Verlauf der Zinskurven für Wertschriften mit einer Laufzeit von 3 Monaten. Die Darstellung zeigt schön, dass der Zins bei einem schlechten Rating (z.B. BBB) höher ist als bei einem guten Rating (z.B. AAA). Als Basis für all diese Kurven dient die Interbanken-Zinskurve. Darauf wird dann jeweils ein Spread gelegt, welcher aufzeigt, inwiefern der Zins einer Kategorie vom Interbanken-Zins abweicht. In Abbildung 3.1 ist zu sehen, dass der Spread für Staatsanleihen (GOV) negativ ist, da die Zinsen tiefer als bei der Interbanken-Zinskurve liegen.

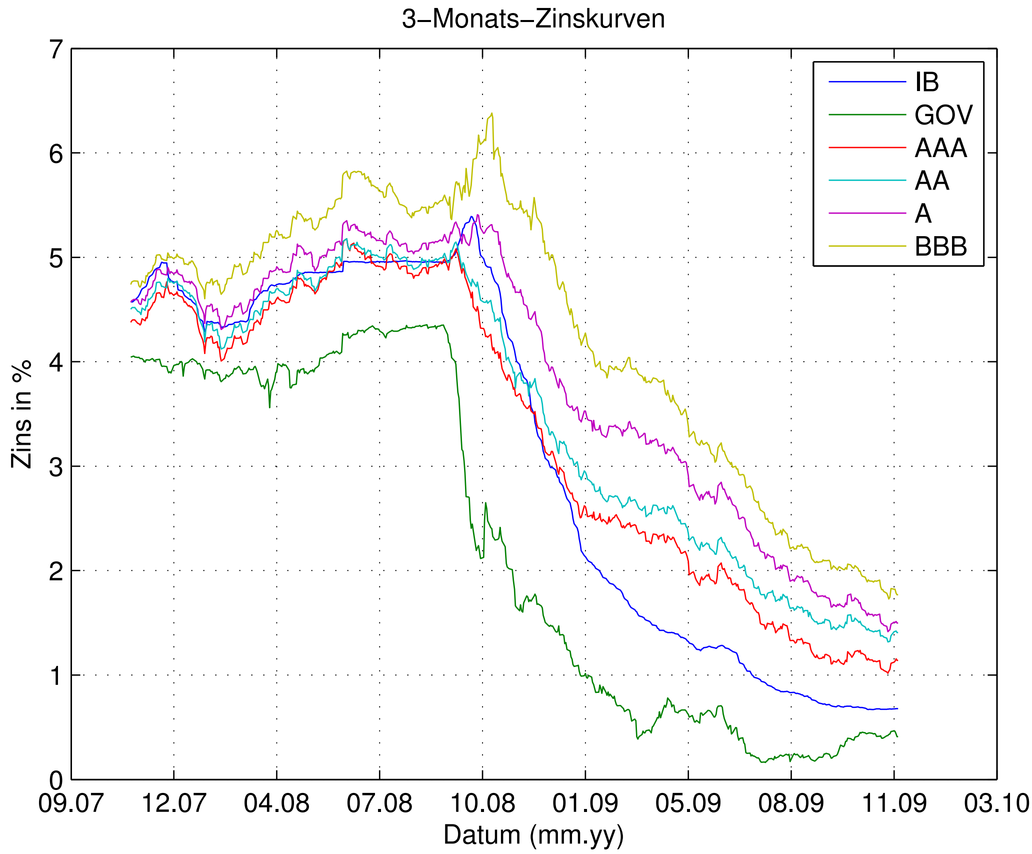

Abbildung 3.1.: Zinskurven für eine Laufzeit von 3 Monaten, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg"

Allgemein fällt auch auf, dass die Zinsen seit Ende 2008 drastisch gesunken sind. Dies kommt daher, dass viele Notenbanken ab Oktober 2008 zur Bekämpfung der Subprime-Krise die Leitzinsen senkten, um den Geldfluss wieder anzukurbeln. Als Folge davon sanken die Zinsen insgesamt ziemlich stark.

3.1.1. Termpunkte

In dieser Arbeit stehen jeweils Zinshistorien für Laufzeiten von 3 Monaten, 6 Monaten, 1 Jahr, 2 Jahren, 3 Jahren, 4 Jahren, 5 Jahren, 7 Jahren, 8 Jahren, 9 Jahren, 10 Jahren, 15 Jahren und 20 Jahren zur Verfügung. Die 6-Monats-Zinskurve wird aber weggelassen und die 3-Monats-Zinskurve wird als 0-Jahres-Termpunkt genommen. Dies hat zwei Gründe:

1. Die LIBOR-Sätze (3 Monate und 6 Monate für Interbank) werden nur einmal täglich um 11 Uhr in London fixiert. Die Swap-Sätze werden hingegen "intraday" gehandelt. Darum sind letztere etwas stochastischer. Die unterjährigen LIBOR-Sätze passen von der Qualität nicht zu den Swap-Sätzen. Dies ist auch deutlich in Abbildung 3.2 zu sehen.
2. Da die Restlaufzeiten eines Bonds selten einem dieser Termpunkte entsprechen, muss interpoliert werden (siehe Kapitel 3.1.3). Dazu wird für kurze Laufzeiten ein 0-Jahres-Termpunkt benötigt.

3.1.2. Restlaufzeit

Die Laufzeit eines Bonds beeinflusst auch dessen Zins. Das heisst, ein Bond mit einer Laufzeit von 3 Monaten, wird sehr wahrscheinlich ganz andere Zinsen abwerfen, als der selbe Bond mit einer Laufzeit von 10 Jahren. Generell gilt, je länger die Laufzeit, umso höher der Zins[1] (vergleiche dazu auch Abbildung 3.3). Dies muss aber keineswegs zwingend der Fall sein!

Die sogenannte Restlaufzeit bezeichnet die verbleibende Zeit bis zur Maturität des Bonds. Ein 3-Jahres-Bond, welcher am 01.01.2008 emittiert wurde, hat also zum Beispiel am 01.01.2009 noch eine Restlaufzeit von 2 Jahren. Dies ist darum wichtig, weil Bonds auch gehandelt werden können. Wer einen Bond für eine fixe Laufzeit kauft, muss diesen nicht für die gesamte Laufzeit behalten, sondern kann diesen auch verkaufen. Ein 3-Jahres-Bond vom 01.01.2008 entspricht also am 01.01.2009, von der Restlaufzeit her, einem neu emittierten 2-Jahres-Bond. Allerdings können die Zinskonditionen auf Grund der unterschiedlichen Laufzeit und den unterschiedlichen Emissions-Zeitpunkten beträchtlich variieren. Deshalb wird der Preis für diese Bonds auch kaum derselbe sein. Mehr zur Preisbildung steht im Abschnitt 3.2.

[1]vgl. David G. Luenberger. *Investment Science*. First Edition. New York, USA: Oxford University Press, 1997, S. 72.

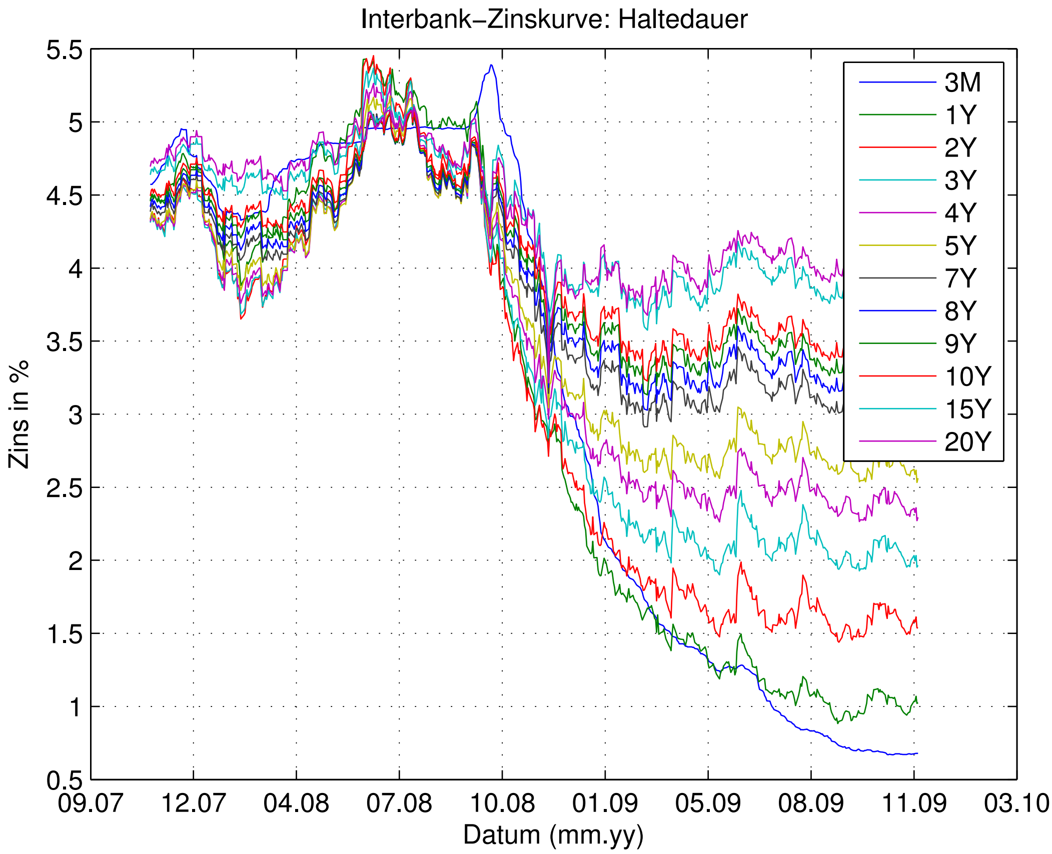

Abbildung 3.2.: Interbank-Zinskurven mit unterschiedlichen Laufzeiten, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg"

3.1.3. Interpolation

Die Marktdaten (siehe im Anhang E) sind als Zeitreihen zu verstehen. Diese seien gegeben als:

$$\mathbf{z_t} = (z_0^1, z_1^1, \ldots, z_T^m) \qquad \text{für Dimensionen } i = 1, \ldots, \text{m}$$
$$\text{und Zeitpunkte } t = 0, 1, \ldots, \text{T}$$

Dabei bedeutet die Dimension i die Anzahl Termpunkte einer Zeitreihe. Die Zeitpunkte t seien im Abstand Δt gegeben, wobei Δt hier einem Tag entspricht (ohne Wochenende).

Wie in Abschnitt 3.1.1 schon beschrieben, stimmen die Restlaufzeiten eines Bonds selten genau mit einem der Termpunkte überein. Um einen annäherungsweise korrekten Zins zu erhalten, muss also zwischen den verschiedenen Termpunkten interpoliert werden. Dazu wurde hier eine lineare Interpolation angewendet.

Bei der linearen Interpolation werden zwei Datenpunkte (x_0, f_0) und (x_1, f_1) durch eine Strecke verbunden:

$$f(x) = f_0 + \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0}(x - x_0) \tag{3.1}$$

In Abbildung 3.3 ist die lineare Interpolation nochmals grafisch dargestellt. Konkret wird in dieser Abbildung eine Interpolation zwischen den Termpunkten der IB-Zinsen per 27.11.2009 (dies ist der Zeitpunkt t) gemacht.

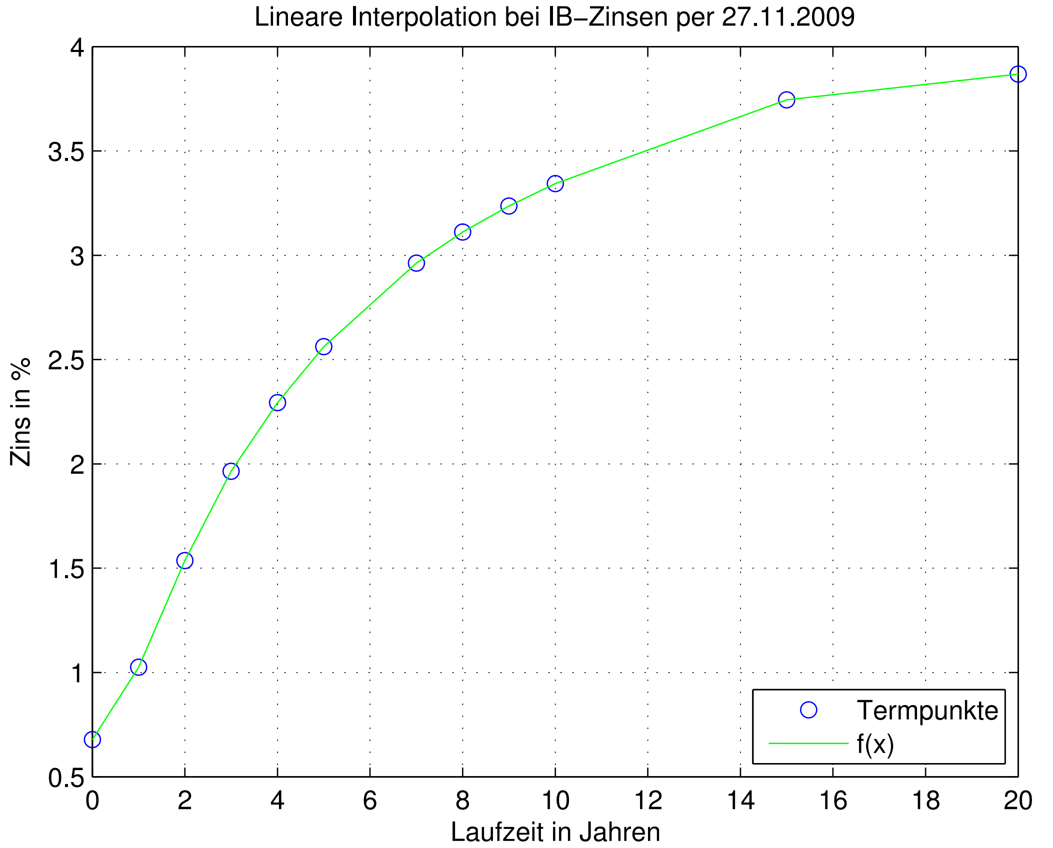

Abbildung 3.3.: Lineare Interpolation der IB-Zinsen per 27.11.2009, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg"

3.1.4. Zerlegung der Zinskurve für Bewertung

Wie zu Beginn in Kapitel 3.1 schon erwähnt, werden bei den Zinskurven nicht die absoluten Werte genommen, sondern sie werden zerlegt. Die Interbanken-Zinskurve dient als Basis für die Government- und Corporate-Zinskurven, welche durch das

Hinzufügen des entsprechenden Spreads entstehen. Ein Spread kann durchaus auch negativ sein, wie es bei den Government-Zinsen von Staaten mit hoher Bonität häufig der Fall ist (siehe Abbildung 3.1).

Es seien:

a	Instrument (Bond)
i	Emittent (a) $\in \{ABB, NOV, \dots\}$
R	Rating (a) $\in \{AAA, \dots, BBB\}$
t	Zeitpunkt
τ	Restlaufzeit

Die Zerlegung der Zinskurve für die Zeit t und die Restlaufzeit τ sieht dann folgendermassen aus:

$$r_t^a(\tau) = r_t^{IB}(\tau) + s_t^R(\tau) + s_{res}^{i,R} + s_{kal}^a \tag{3.2}$$

Hier seien:

$r_t^a(\tau)$	Emittenten-spezifische Zinskurve
$r_t^{IB}(\tau)$	Interbanken-Zinskurve
$s_t^R(\tau)$	Ratingspread-Zinskurve
$s_{res}^{i,R}$	Emittenten-spezifischer residualer Spread
s_{kal}^a	Instrument-spezifischer Kalibrierungsspread

In dieser Arbeit wurden die beiden Spreads $s_{res}^{i,R}$ und s_{kal}^a in einen Kalibrierungsspread $s_{kal}^{i,R,a}$ zusammengefasst. Die Zerlegung sieht dann entsprechend anders aus:

$$r_t^a(\tau) = r_t^{IB}(\tau) + s_t^R(\tau) + s_{kal}^{i,R,a} \tag{3.3}$$

Abbildung 3.4 veranschaulicht die oben definierte Zerlegung in Anlehnung an Abbildung 3.3 für einen Beispiel-Bond.

3.2. Bondbewertung

Am Geldwert gemessen, stellen Bonds den grössten Anteil der sogenannten "Fixed-Income Securities" (fest verzinsliche Wertpapiere) und sind - als Klasse - auch am meisten liquide.[2] Durch diese Liquidität können Bonds relativ einfach gehandelt werden. Voraussetzung für den Handel ist aber eine Preisfindung, also eine Bewertung des Bonds. In den folgenden Abschnitten wird aufgeführt, wie diese durchgeführt wird.

[2] vgl. Luenberger, *Investment Science*, S. 49.

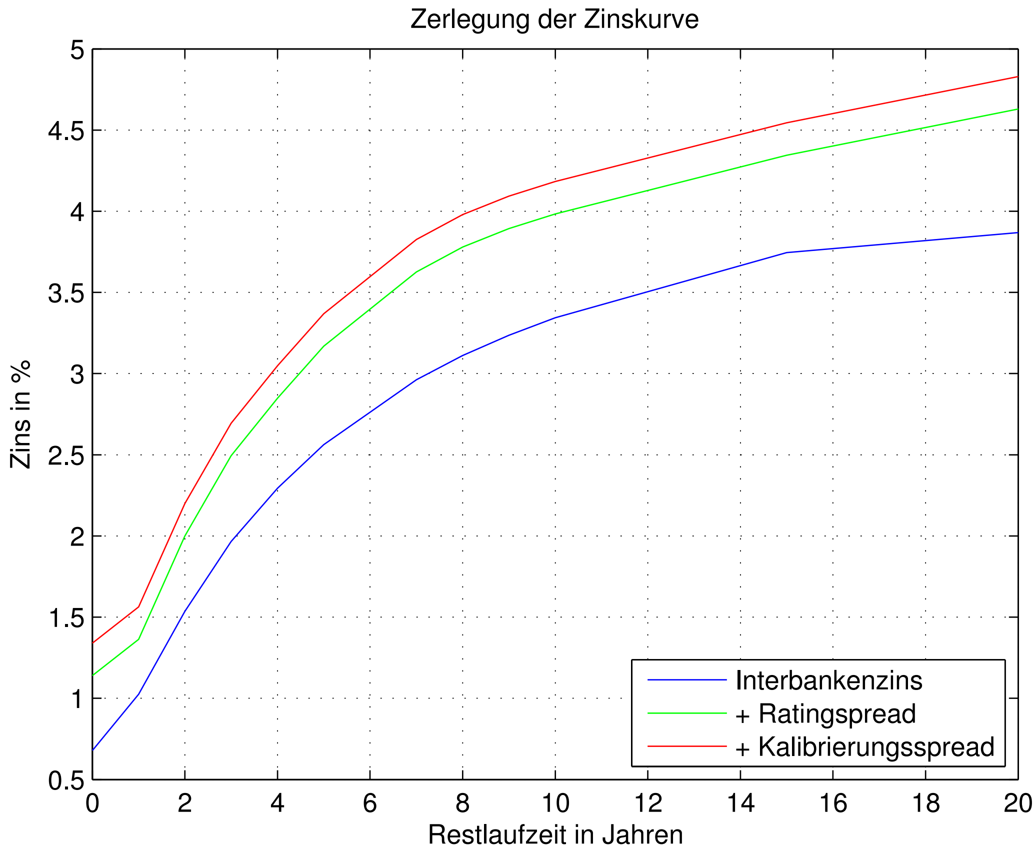

Abbildung 3.4.: Beispiel einer zerlegten Zinskurve, Quelle: "Eigene Darstellung"

3.2.1. Nominal

Der Nominal ist der Nominalwert des Bonds. Er kann - muss aber nicht - dem Wert entsprechen, zu welchem der Bond ursprünglich veräussert wurde (der sogenannte "Issue Price").[3] Der Emittent erhält diesen Betrag beim Verkauf. Am Ende der Laufzeit wird der Nominal wieder an den Besitzer des Bonds zurückbezahlt. Basierend auf dem Nominal und dem Coupon (siehe Abschnitt 3.2.3) wird der periodisch zu zahlende Geldbetrag festgelegt.

Bonds haben üblicherweise runde Nominalwerte wie zum Beispiel 100 oder 1000 EUR. Alternativ wird der Nominal auch Face Value oder Principal genannt.

[3] Dies gilt z.B. nicht für einen Zero-Coupon Bond.

3.2.2. Maturität

Die Maturität bezeichnet die Fälligkeit, bei welcher die Laufzeit des Bonds zu Ende ist und der Emittent dem Besitzer den Nominal zurückzahlt. Basierend auf der Maturität und dem aktuellen Datum wird die Restlaufzeit des Bonds berechnet.

3.2.3. Cash Flows & Coupons

Der Geldfluss findet zwischen dem Inhaber und dem Emittenten des Bonds statt. Mehrere Cash Flows eines Bonds bilden einen Cash Flow Stream. Der Geldfluss eines üblichen Cash Flow Stream läuft in folgender Reihenfolge ab:

1. Der Käufer bezahlt den Issue Price an den Emittenten und erhält dafür den Bond.
2. In periodischen Abständen wird der Coupon vom Emittenten an den Inhaber bezahlt.
3. Am Ende der Laufzeit des Bonds bekommt der Inhaber den Nominal vom Emittenten zurück.

Bei einem Zero-Coupon Bond entfallen - wie es im Namen steht - die Coupons. Die Vergütung für die Kapitaleinlage wird über den Issue Price geregelt. Hier entspricht der Issue Price also nicht dem Nominal, sondern ist entsprechend tiefer. Die Differenz zwischen dem Issue Price und dem Nominal kompensiert dann sozusagen die fehlenden Coupons.

Bei den ”normalen” Bonds mit Coupon wird dieser in periodischen Abständen bezahlt. Hier gibt es verschiedene Periodizitäten wie zum Beispiel 3-monatlich, 6-monatlich oder jährlich. Die Wahl der Periodizität macht für die involvierten Parteien durchaus einen Unterschied. Ein ansonsten völlig identischer Bond, bei dem der Coupon anstatt jährlich alle 3 Monate bezahlt wird, ist für den Inhaber lukrativer, da er das schon nach 3 Monaten erhaltene Geld wieder (hoffentlich) gewinnbringend investieren kann. Um den aktuellen Wert eines Coupons zu bestimmen, muss dieser also abgezinst werden. Dasselbe gilt für die Zurückzahlung des Nominals. Ein Nominal, der erst in 20 Jahren zurückbezahlt wird, ist dementsprechend heute weniger wert, als ein Nominal, der schon in einem Jahr zurückbezahlt wird. Details zur Abzinsung und Berechnung des aktuellen Wertes (Present Value) finden Sie im Abschnitt 3.2.5.

3.2.4. Rating

Das Rating ist eine Messgrösse zur Bonität eines Schuldners. Es wird also die Zahlungsfähigkeit und -willigkeit eines Schuldners beurteilt. Ratings werden von Rating-Agenturen wie *Standard & Poor's* und *Moody's* vergeben.

	Moody's	Standard & Poor's
High Grade	Aaa	AAA
	Aa	AA
Medium Grade	A	A
	Baa	BBB
Speculative Grade	Ba	BB
	B	B
Default Danger	Caa	CCC
	Ca	CC
	C	C

Tabelle 3.1.: Rating-Kategorien gemäss Moody's und Standard & Poor's, Quelle: "Eigene Aufbereitung in Anlehnung an Luenberger 1997, S.52"

Je schlechter das Rating ist, umso höher ist das Ausfallrisiko eines Schuldners. Man spricht von Ausfall (auch Default), wenn der Schuldner die vertraglichen Bedingungen (Coupon, Rückzahlung des Nominals) nicht erfüllen kann. Da bei einem Bond eines Emittenten mit schlechtem Rating die Wahrscheinlichkeit eines Verlusts grösser ist als bei einem Bond eines Emittenten mit gutem Rating, fallen bei ersterem die Zinsen höher aus. Das Rating des Herausgebers hat also erheblichen Einfluss auf den Zins. Historisch gesehen hat die Ausfallhäufigkeit gut mit den vergebenen Ratings korreliert.[4]

In dieser Arbeit werden nur Bonds mit Ratings zwischen AAA und BBB bewertet. Dies sind relativ gute Ratings und befinden sich noch nicht im spekulativen Bereich (vergleiche Tabelle 3.1).

3.2.5. Bewertung mit Present Value

Für die Bewertung eines Bonds muss, neben dem Rating, dessen ganzer Cash Flow für die Restlaufzeit berücksichtigt werden. Vom Cash Flow wird der sogenannte Present Value (PV) gerechnet. Das heisst, alle zukünftigen Zahlungen werden abgezinst. Der Zinssatz zum Abzinsen der einzelnen Zahlungen wird hier - abhängig von der Laufzeit bis zur Zahlung - jeweils berechnet werden. Wie es in Abschnitt 3.1.4 beschrieben ist, wird die Zinskurve in drei Teile aufgeteilt:

- Interbankenzinskurve
- Ratingspread
- Kalibrierungsspread

[4] vgl. Luenberger, *Investment Science*, S. 52.

Während die Interbankenzinskurve und der Ratingspread gegeben sind, muss der Kalibrierungsspread berechnet werden. Das Vorgehen dafür ist in Abschnitt 3.2.7 beschrieben. Aus der daraus errechneten Zinskurve werden dann die entsprechenden Abzinsungssätze interpoliert.

Die Formel zur Berechnung des Present Value eines Bonds mit einem Cash Flow Stream $(x_0, x_1, \ldots, x_n)$, einem Abzinsungssatz von r pro Periode und n Perioden sieht folgendermassen aus:

$$PV = x_0 + \frac{x_1}{1+r} + \frac{x_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{x_n}{(1+r)^n} \tag{3.4}$$

3.2.6. Clean & Dirty Price

Bei den Preisangaben für Bonds wird zwischen dem Clean Price und dem Dirty Price unterschieden. Ausschlaggebend für den Handel an der Börse ist der Dirty Price. Wenn also vom Marktpreis die Rede ist, meint man damit den Dirty Price. Doch zuerst soll beschrieben werden, was eigentlich der Unterschied zwischen diesen beiden Preisen ist.

Wie schon in Abschnitt 3.2.3 beschrieben, erhält der Inhaber eines Bond normalerweise[5] in periodischen Abständen einen Coupon. Durch den Coupon wird der Inhaber für die Kapitaleinlage und auch das damit verbundene Risiko entschädigt. Diese Entschädigung erfolgt aber nicht kontinuierlich, sondern eben nur einmal pro Periode. Falls ein Coupon jährlich ausbezahlt wird, hat der Inhaber des Bonds sein Kapital zwar jeden Tag gebunden und trägt auch jeden Tag das Risiko eines Verlusts, wird aber erst Ende Jahr dafür entschädigt. Angenommen der Inhaber verkauft den Bond Mitte Jahr, muss er für das halbe Jahr Besitz irgendwie entschädigt werden. Hier kommen die aufgelaufenen Zinsen - im Jargon Accrued Interest genannt - ins Spiel. Diese erhöhen sich mit jedem Tag Laufzeit, bis der Coupon ausgezahlt wird und die aufgelaufenen Zinsen wieder auf Null gesetzt werden. Der Accrued Interest lässt sich mit einer relativ einfachen Formel berechnen. Es seien:

m	Anzahl Tage seit der letzten Coupon-Zahlung
n	Periodizität in Tagen für Coupon-Zahlung
c	Coupon
a_m	Accrued Interest für m Tage

Dann berechnet sich der Accrued Interest folgendermassen:

$$A_m = C\left(\frac{m}{n}\right) \tag{3.5}$$

[5] Der Zero-Coupon Bond generiert z.B. keinen Coupon

Dieser Accrued Interest stellt genau die Differenz des Clean und des Dirty Price dar. Genauer gesagt bildet der Dirty Price die Summe aus dem Clean Price und dem Accrued Interest:

$$\textit{Dirty Price} = \textit{Clean Price} + \textit{Accrued Interest}$$

Nun sollte auch klar werden, warum am Markt mit dem Dirty Price gehandelt wird. Ein potentieller Käufer muss dem aktuellen Inhaber nicht nur den Clean Price sondern auch den Accrued Interest zahlen, damit dieser gerecht entschädigt wird. Da der Dirty Price in Prozenten des Nominals angeben wird, berechnet sich der Marktpreis folgendermassen:

$$\textit{Marktpreis} = \textit{(Dirty Price) (Nominal)}$$

Für die eigentliche Bewertung des Bond ist der Clean Price - wie der Name schon sagt - eigentlich der sauberere Preis. Dieser stellt den wirklichen Preis des Bonds dar, der nicht durch aufgelaufene Zinsen verfälscht wird. Wenn man also zwei Bonds vergleichen will, sollte man dies mit dem Clean Price tun. Auch zu beachten ist, dass am Tag der Auszahlung des Coupons der Accrued Interest auf 0 zurückgesetzt wird und an diesem Tag der Clean Price dem Dirty Price entspricht.

3.2.7. Kalibrierung

Die Kalibrierung wurde schon im Abschnitt 3.1.4 angesprochen (siehe auch Abbildung 3.4). In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, wie genau der Kalibrierungsspread berechnet wird.

Dazu sollte zuerst nochmals die Formel 3.4 genauer angeschaut werden. Von besonderer Bedeutung ist hier der Wert r, welcher für die Abzinsung verwendet wird. Dieser Wert ist bei einer genauen Bewertung keineswegs konstant, wie es die vereinfachte Formel vermuten lässt. Die Formel für den Present Value PV eines Bonds lässt sich etwas genauer schreiben. Es seien:

PV	Present Value eines Bonds
C_t	Coupon- oder Nominal-Zahlung oder beides in Periode t
t	Nummer der Periode für jede Zahlung
T	Anzahl Perioden bis zur Maturity
r_t^{IB}	Interbankenzins für Periode t
s_t^R	Ratingspread für Periode t
ξ	Konstanter Kalibrierungsspread

Der Kalibrierungsspread ist dann der Wert von ξ , so dass

$$PV = \sum_{t=1}^{T} \frac{C_t}{(1 + r_t^{IB} + s_t^R + \xi)^t} \tag{3.6}$$

ξ wird dann so ausgerechnet, dass der Present Value exakt dem Marktpreis (also dem Dirty Price) entspricht. Diese Berechnung kann - abgesehen von sehr einfachen Fällen - nicht von Hand gemacht werden.[6] Für die Ermittlung des Kalibrierungsspreads wird das Bisektionsverfahren angewendet, welches zusammen mit dem Quellcode im Abschnitt 4.3.5 erläutert wird.

Anhand der Formel 3.6 wird auch ersichtlich, wo die Risiken eines Wertverlustes liegen: Da die Zahlungen fix sind, ändert sich der Wert des Bonds bei Änderungen der Zinsen ($r_t^{IB} + s_t^R$).[7] Die Wertveränderung ist genauer unter Abschnitt 3.4.3 beschrieben.

3.3. Risikomodell

In den folgenden Abschnitten wird das zur Risikomessung verwendete Modell eingehender vorgestellt. Dabei werden zwei grundsätzliche Risiken gemessen:

- Kreditrisiko
- Marktrisiko

Die beiden Risiken sind in den Abschnitten 2.1.1 und 2.1.2 genauer beschrieben.

3.3.1. Risikofaktoren

Wertänderungen eines Bonds sind abhängig von möglichen Veränderungen der für den Bond wertbestimmenden Risikofaktoren. Für das Marktrisiko sind die Risikofaktoren in diesem Modell sich ändernde Zinssätze. Andere Faktoren wie zum Beispiel Devisenkurse werden nicht berücksichtigt. Gemäss Formel 3.6 zur Berechnung des Present Values gibt es für den Zins zwei variable Einflussgrössen. Dies wären zum einen der Interbankzins und zum anderen der Ratingspread.

Für das Kreditrisiko ist eigentlich der Ausfall einer Forderung der Risikofaktor. Der Ausfall ist eine Zufallsvariable mit einer Bernoulli-Verteilung. Das heisst, entweder erfüllt der Schuldner alle vertragsbedingten Zahlungen oder es gibt einen Ausfall (Default). Allerdings kann das mittlere Ausfallrisiko von Emittenten eines bestimmten Ratings auch über die Ratingspreads gemessen werden, wie es in dieser Arbeit

[6] vgl. Luenberger, *Investment Science*, S. 53.
[7] vgl. Philippe Jorion. *Value at Risk*. 1st Edition. New York, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997, S. 104.

gemacht wird. Das genaue Vorgehen dazu wird noch später im Abschnitt 3.4.7 vorgestellt. Wichtig ist hier, dass die Ratingspreads die Risikofaktoren für das Kreditrisiko sind.

Insgesamt gibt es also nur zwei allgemeine Risikofaktoren: der Interbankenzins und die Ratingspreads.

3.3.2. Zerlegung der Zinskurve für Stochastik

Zur Verfügung stehen Zinsen gemäss den Daten im Anhang E. Dies sind also Interbank- (E.1), Government- (E.2) und Corporate-Zinsen (E.3). Von diesen Instrumenten sind jeweils die täglichen[8] Werte vom 12.11.2007 bis am 27.11.2009 aufgeführt, was für jedes Instrument eine Zinskurve über diesen Zeitraum gibt. Diese Zinskurven gilt es jetzt zu zerlegen, da für eine stochastische Simulation die Spreads benötigt werden.

Die Interbankzinsen bilden die Basis und können nicht noch weiter zerlegt werden. Die Spreads all der anderen Zinskurven können errechnet werden, indem von der jeweiligen Zinskurve, die als Vektor

$$\mathbf{z} = (z_0, z_1, z_2, \ldots, z_n)$$

beschrieben werden kann, die Interbankenzinskurve

$$\mathbf{i} = (i_0, i_1, i_2, \ldots, i_n)$$

abgezogen wird. Daraus resultiert dann der Vektor $\mathbf{s}$ mit den Spreads:

$$\mathbf{s} = \mathbf{z} - \mathbf{i} \tag{3.7}$$

oder

$$(s_0, s_1, s_2, \ldots, s_n) = (z_0, z_1, z_2, \ldots, z_n) - (i_0, i_1, i_2, , \ldots, i_n) \tag{3.8}$$

Die Spreads können sowohl positiv, als auch negativ sein, wie man in Abbildung 3.5 deutlich sehen kann. Ebenso sieht man auch, dass der Spread bei schlechteren Ratings höher ist als bei guten Ratings.

Mit der Zerlegung der Zinskurven in die Interbankenzinskurve und die Spreads ist es aber noch nicht getan. Es soll ja eine Wertveränderung simuliert werden, und darum werden - als Basis - Vektoren von vergangenen Wertveränderungen (sogenannten Returns) benötigt. Diese Returns können errechnet werden, indem jeder Vektor von sich selber mit einem Tag Zeitverschiebung subtrahiert wird. Am Beispiel der Interbankzinsen $\mathbf{i}$ sieht das folgendermassen aus:

$$r_i = (r_0, r_1, r_2, , \ldots, r_{n-1}) = (i_1, i_2, i_3, , \ldots, i_n) - (i_0, i_1, i_2, , \ldots, i_{n-1}) \tag{3.9}$$

[8]ohne Wochenende, da die Börse Samstags und Sonntag geschlossen ist

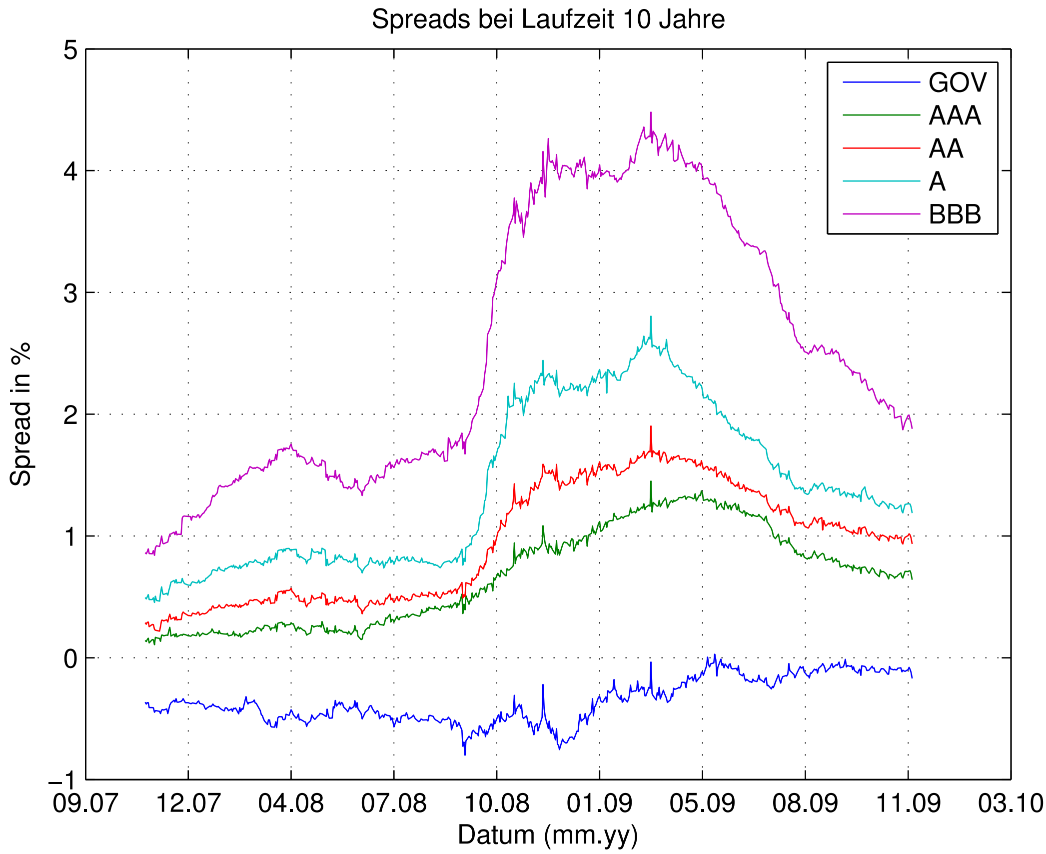

Abbildung 3.5.: Spreads bei einer Laufzeit von 10 Jahren, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg"

Man beachte, dass die Zeitreihe für die Interbankreturns r_i um ein Element kürzer ist als die ursprüngliche Interbankenzins-Zeitreihe. Dies liegt daran, dass ein Return immer das Resultat einer Subtraktion des Vortagessatzes eines Zinses ist. Wenn also die Formel 3.9 bei allen Spreads und Interbankenzinsen angewandt wird, erhält man jeweils die entsprechenden Zeitreihen von Returns. Abbildung 3.6 zeigt einen solchen Return-Vektor als graphische Darstellung. Falls ein Return negativ ist, hat sich der Spread an diesem Tag verkleinert und falls ein Return positiv ist, wurde der Spread an diesem Tag grösser.

Nach den oben aufgeführten Berechnungen besteht die Datenbasis aus den

- Interbankenzinskurven, den
- Ratingspreads und den
- Returns auf den Interbankenzinskurven und Ratingspreads.

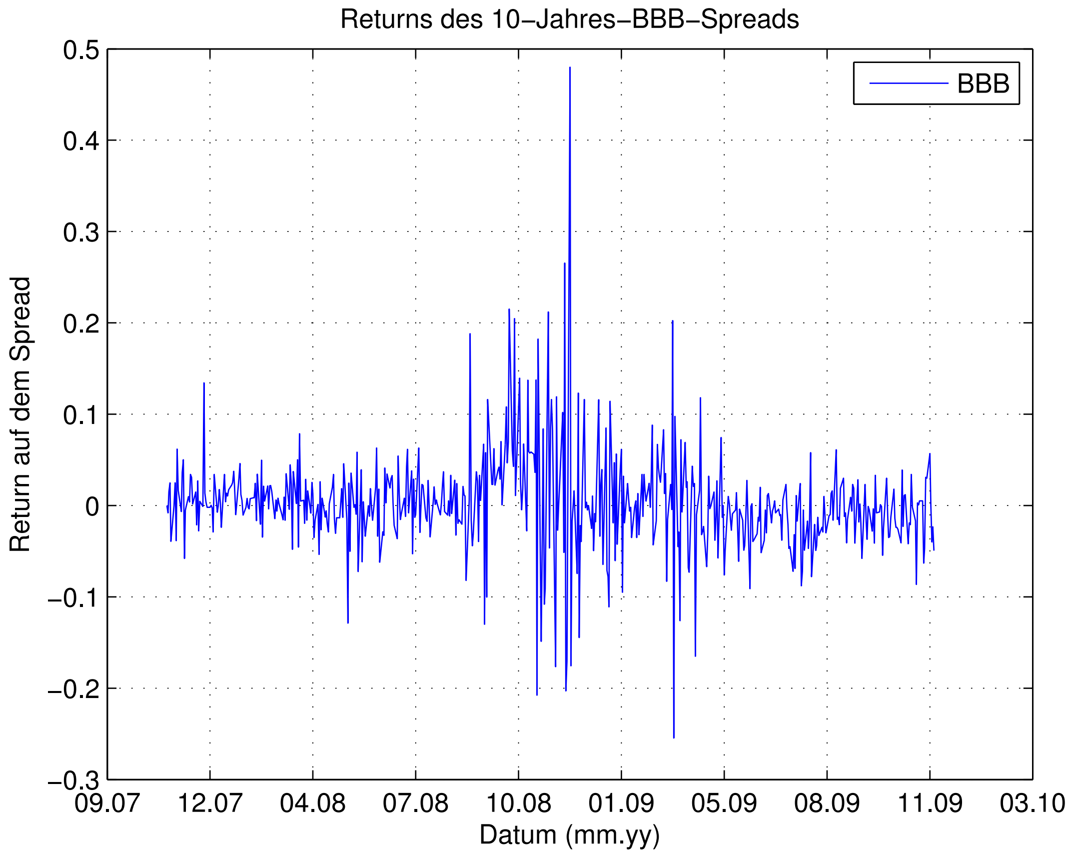

Abbildung 3.6.: Returns der BBB-Spreads bei einer Laufzeit von 10 Jahren, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg"

Für die Simulation sind vor allem Returns von Bedeutung. Wenn die Interbankzinsen und die Ratingsspreads also Risikofaktoren (siehe 3.3.1) sind, dann können die Returns als Risikofaktorreturns oder Risikofaktorrenditen bezeichnet werden. Voraussagen zu Wertveränderungen werden meistens nicht mit Hilfe von Risikofaktoren, sondern mit Hilfe der Risikofaktorrenditen gemacht, da diese einige Vorteile besitzen.[9] Das sind einerseits günstigere statistische Eigenschaften, weil sie im allgemeinen keine Trends aufweisen und sich so durch stationäre stochastische Prozesse[10] beschreiben lassen und andererseits lassen sich auch einfachere Verteilungsannahmen, wie zum Beispiel die Normalverteilung, treffen.[11]

[9] vgl. Strassberger, *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*, S. 74.
[10] Die Zeitreihe hat zu allen Zeitpunkten den gleichen Erwartungswert und die gleiche Varianz.
[11] vgl. Strassberger, *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*, S. 74.

3.3.3. Stochastische Annahmen über die Verteilung der Risikofaktoren

Den oben zerlegten empirischen Daten - im speziellen den Returns - soll jetzt ein stochastisches Modell unterlegt werden, auf dessen Basis dann die Parameterschätzung gemacht werden kann. Es gilt (einfachheitshalber für eine 1-dimensionale Zeitreihe):

Die Returnvektoren $\mathbf{r_t}$ seien Realisierungen von unabhängigen und gleichverteilten Zufallsvektoren $\mathbf{R_t}$. Diese Zufallsvektoren $\mathbf{R_t}$ seien *multivariat normalverteilt* mit Parameter $\boldsymbol{\mu_t}$ (Erwartungsvektor) und $\mathbf{\Sigma_t}$ (Kovarianzmatrix).

$$E[R_t^i] = \mu_t^i \qquad \text{Erwartungswerte}$$
$$Var[R_t^i] = (\sigma_t^i)^2 \qquad \text{Varianzen (Volatilitäten im Quadrat)}$$
$$Cov[R_t^i, R_t^j] = \Sigma_t^{ij} \qquad \text{Kovarianzen}$$
$$Corr[R_t^i, R_t^j] \equiv \rho_t^{ij} = \frac{\Sigma_t^{ij}}{\sigma_t^i * \sigma_t^j} \qquad \text{Korrelationen}$$

Die multivariate Normalverteilung ist eine gemeinsame Normalverteilung, die auch stochastische Abhängigkeiten zwischen den Zufallsvariablen zulässt.[12] Zu den üblichen Angaben wie Erwartungswerten und Varianz kommt als Parameter noch die Kovarianzen oder die Korrelationen dazu. Die Schätzung dieser Werte wird in den Abschnitten 3.3.4 und 3.3.5 erklärt. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 3.7 die Dichtefunktion einer bivariaten Normalverteilung.

3.3.4. Parameterschätzung

Die in Abschnitt 3.3.3 erwähnten Parameter gilt es nun zu schätzen. Hier ist wichtig, dass die folgenden Parameterschätzungen alle als rollend oder gleitend zu verstehen sind. Das bedeutet, dass man von einer Zeitreihe mit Punkten

$$0, 1, \ldots, t-1, t, t+1, \ldots, T-1, T$$

ausgeht. Die aktuelle Zeit sei t und die Punkte nach t seien noch nicht bekannt, kommen aber nach und nach hinzu. Die Parameter μ_t^i und σ_t^i werden nun mit einem "Fenster" der Länge n von zurückliegenden Daten geschätzt:

$$t-n, \ldots, t-1, t$$

Mit jedem neu dazukommenden Datenpunkt nach t bewegt sich das Schätzfenster entsprechend mit.

[12] vgl. Henking, Bluhm und Fahrmeir, *Kreditrisikomessung*, S. 111.

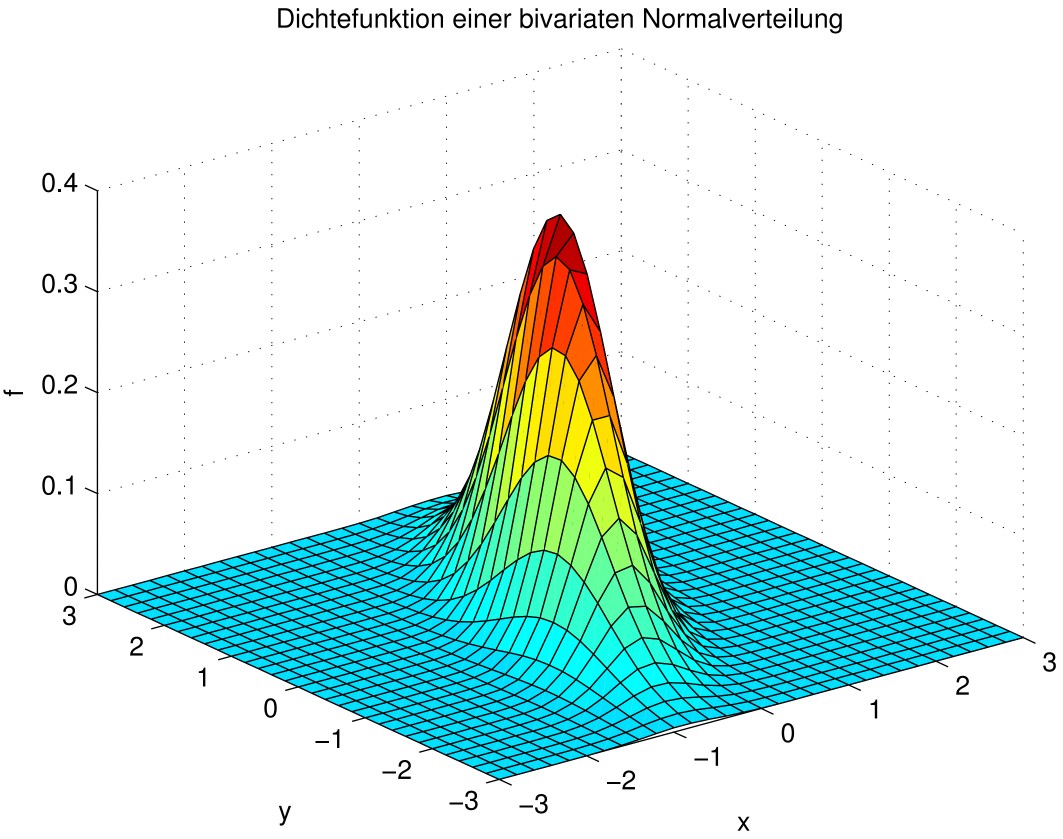

Abbildung 3.7.: Dichtefunktion einer bivariaten Normalverteilung, Quelle: "Eigene Darstellung"

Die Parameter werden zuerst gleichgewichtet geschätzt. Zur Gewichtung steht in Abschnitt 3.3.5 mehr geschrieben. Es seien:

$$\hat{\mu}_t^i = \frac{1}{n} \sum_{\tau=1}^{n} r_{t-\tau}^i \qquad \text{Erwartungsvektor} \tag{3.10}$$

$$(\hat{\sigma}_t^i)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{\tau=1}^{n} (r_{t-\tau}^i - \hat{\mu}_t^i)^2 \qquad \text{Varianzen (Volatilitäten Quadrat)} \tag{3.11}$$

$$\hat{c}_t^{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{\tau=1}^{n} (r_{t-\tau}^i - \hat{\mu}_t^i)\,(r_{t-\tau}^j - \hat{\mu}_t^j) \qquad \text{Kovarianzen} \tag{3.12}$$

$$\hat{\rho}_t^{ij} = \frac{\hat{c}_t^{ij}}{\hat{\sigma}_t^i\,\hat{\sigma}_t^j} \qquad \text{Korrelationen} \tag{3.13}$$

Der Erwartungswert ist eigentlich der Durchschnitt einer Zeitreihe. Mit guter Näherung und kurzen Zeitintervallen Δt von bis zu 15 Tagen gilt aber $E[R_t^i] \approx 0$. Aus ökonomischen Gründen weisen Zinsen und Spreads über einen längeren Zeitraum keinen sogenannten "Drift" auf, da sie Konjunkturzyklen (Interbankzinsen) und Kreditzyklen (Spreads) folgen. Der Vektor mit den Erwartungswerten $\hat{\mu}_t$ muss also nicht geschätzt werden, sondern es kann stattdessen ein entsprechender Vektor mit Nullen genommen werden.

3.3.5. Gewichtung der Schätzer

Die oben aufgeführten Schätzer sind alle gleichgewichtet. Das heisst, alle Beobachtungen werden gleich behandelt, egal wie weit sie zurück liegen.[13] Dadurch bleiben dynamische Eigenschaften der Zeitreihen weitestgehend unberücksichtigt.[14] Ein Ereignis ist entweder im Zeitfenster oder es fällt hinaus. Dies kann vor allem dann zu abrupten Veränderungen der aktuellen Schätzer führen, wenn länger zurückliegende Renditeschocks (betragsmässig hohe Returns) plötzlich aus dem Fenster fallen.[15] Ausserdem ermöglicht die Verwendung eines gewichteten Schätzers für die Volatilität eine unmittelbare Reaktion der Schätzung auf kürzlich passierte Schocks. Wenn die Volatilität in den letzten Tagen sehr hoch war, ist es wahrscheinlich, dass sie in den nächsten Tagen auch hoch sein wird.

Im Gegensatz zum gleichgewichteten Volatilitätsschätzer $\hat{v}_t^i$ wird ein allgemein gewichteter Volatilitätsschätzer mit $\hat{\sigma}_t^i$ bezeichnet. Der Ansatz hierfür im Falle von $\mu_t^i = 0$ lautet

$$(\hat{\sigma}_t^i)^2 = \sum_{r=1}^{n} \alpha_r (r_{t-r}^i)^2 \tag{3.14}$$

mit Gewichten $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$, welche

$$\sum_{r=1}^{n} \alpha_r = 1 \tag{3.15}$$

erfüllen. Für einen gleichgewichteten Schätzer wäre das

$$\alpha_r = \frac{1}{n-1} \tag{3.16}$$

und für die exponentielle Schätzung erhält man

$$\alpha_{r+1} = \alpha_r \, \lambda \tag{3.17}$$

mit λ zwischen 0 und 1.

[13]natürlich müssen sie noch im Zeitfenster sein
[14]vgl. Strassberger, *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*, S. 81.
[15]vgl. ebd., S. 81.

Der exponentiell gewichtete Schätzer lässt sich (in sehr guter Näherung) durch das folgende rekursive Verfahren berechnen,[16] welches auch in der Implementation angewendet wird:

$$\hat{\sigma}_1^i = 0$$
$$(\hat{\sigma}_t^i)^2 = \lambda\ (\hat{\sigma}_{t-1}^i)^2 + (1-\lambda)\ (r_{t-1}^i)^2 \qquad \text{für } t = 2, 3, \dots, T, T+1 \tag{3.18}$$

Der Parameter λ lässt sich im Prinzip für jede Zeitreihe aus historischen Daten schätzen und liegt typischerweise zwischen 0.94 und 0.97.[17] In der Praxis hat sich die Verwendung eines festen Wertes von $\lambda = 0.94$ für alle Dimensionen etabliert (Empfehlung der RiskMetrics Group[18]).

Neben dem allgemein gewichteten Schätzer gibt es auch noch den gemischten Schätzer. Korrelationen werden aus Gründen der Robustheit oft "nur" gleichgewichtet geschätzt, während die Volatilitäten exponentiell gewichtet (und damit zeitnah) geschätzt werden. Das resultiert dann in folgender "gemischter" Kovarianzmatrix $\hat{\Sigma} = (\hat{\Sigma}_t^{ij})$ für den Zeitpunkt t:

$$\hat{\Sigma}_t^{ij} = \hat{c}_t^{ij}\ \sigma_t^i\ \sigma_t^j \tag{3.19}$$

Zu beachten ist, dass für alle obigen Schätzer, welche für einen Zeitpunkt t berechnet werden, nur die Returns bis $t-1$ eingehen. Wenn also Zeitreihendaten für $t = 0, 1, \dots, T$ vorliegen, können daraus die Returndaten für $t = 1, 2, \dots, T$ gezogen werden (siehe auch Abschnitt 3.3.2). Die Volatilitäts-, Korrelations- und Kovarianzschätzer lassen sich dann für $t = 1, 2, \dots, T, T+1$ bilden. Falls $t = T$ der aktuellen Zeit entspricht, so werden für die Szenariogenerierung (siehe Abschnitt 3.3.6) die Schätzer für den Prognosezeitpunkt $t = T+1$ verwendet.

3.3.6. Szenario-Erzeugung

Es sollen nun, ausgehend von den Werten z_t zur aktuellen Zeit $t = T$, Szenarien für einen späteren Prognosezeitpunkt $t + \Delta t_H$ erzeugt werden. Dabei entspricht Δt_H der Haltedauer des Portfolios. Darunter versteht man die Zeit, in welcher Positionen verkauft oder abgesichert werden können. Für den Value at Risk für Marktrisiken ist diese Haltedauer 10 Tage, wie es vom Basler Komitee vorgeschlagen wurde.[19] Doch zuerst soll gezeigt werden, wie man Return-Szenarien für den Simulationszeitpunkt $t+1$, also so dass Δt_H einem Tag entspricht, erzeugt.

[16]vgl. Hull 2000 und Zangari 1996a, zitiert in: Strassberger, *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*, S. 83.
[17]vgl. Boudoukh, Richardson und Whitelaw 1997 und Jackson, Maude und Perraudin 1997, zitiert in: ebd., S. 83.
[18]vgl. Zangari 1996a, zitiert in: ebd., S. 97.
[19]vgl. Jorion, *Value at Risk*, S. 87.

Dazu werden die Return-Szenarien als Realisierungen gemäss einer multivariaten Normalverteilung $r_{t+\Delta t} \sim N(0, \hat{\Sigma})$ mit Erwartungswert 0 und geschätzter (gemischter) Kovarianzmatrix $\hat{\Sigma}$ betrachtet. Hier ist zu beachten, dass $\hat{\Sigma} = \hat{\Sigma}_{t+\Delta t}$ auch aus Returns mit Intervall Δt und für den Prognosezeitpunkt $t + \Delta t$ geschätzt wurde. Dies bedeutet für den aktuellen Zeitpunkt $t = T$ und $\Delta t = 1$:

$$\hat{\Sigma}^{ij}_{t+1} = \hat{c}^{ij}_{t+1}\, \sigma^i_{t+1}\, \sigma^j_{t+1} \tag{3.20}$$

3.3.7. Zeitskalierung

Nun gilt es, die prognostizierten Werte so zu skalieren, dass sie dem Prognosezeitpunkt $t + \Delta t_H$ bei $\Delta t_H = 10$, also der Haltedauer entsprechen. Dies kann mit einem Zeitskalierungsgesetz gemacht werden, welches als "Wurzel-t" Gesetz bezeichnet wird.

$$r_{t+\Delta t_H} = \sqrt{\frac{\Delta t_H}{\Delta t}} r_{t+\Delta t} \tag{3.21}$$

Dieses Gesetz basiert (als Besipiel hier in einer Dimension) auf der Tatsache, dass für die Standardabweichung σ_s der Summe von zwei unabhängigen, normalverteilten Zufallsvariablen mit Standardabweichung σ_1 und σ_2 gilt $\sigma_s^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$.

Nachdem die prognostizierten Returns hochskaliert wurden, müssen sie den Zinsen z^i_t zum Zeitpunkt t hinzugefügt werden. So erhält man die prognostizierten Zinsen $z^i_{t+\Delta t_H}$ für den Prognosezeitpunkt $t + \Delta t_H$:

$$z^i_{t+\Delta t_H} = z^i_t + r^i_{t+\Delta t_H} \tag{3.22}$$

Die Anwendung des "Wurzel-t" Gesetzes ist nicht gänzlich unumstritten.[20] Gemäss dem Basler Komitee ist seine Anwendung aber durchaus angebracht, solange es auch validiert wurde.[21]

3.4. Risikomessung

Einem Finanzinstitut geht es bei der Risikomessung vor allem darum, den möglichen Verlust seiner Positionen zu schätzen und zu quantifizieren. Entscheidend ist dabei zu wissen, wie wahrscheinlich ein bestimmter Verlust ist. In den nachfolgenden Abschnitten wird gezeigt, wie dies berechnet werden kann.

[20] vgl. Strassberger, *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*, S. 272.

[21] vgl. Basler Ausschuss für Bankenaufsicht. "Revisions to the Basel II market risk framework". In: *Committee Publications* (Juli 2009), S. 1–35, S. 23.

3.4.1. Haltedauer

Die Haltedauer gibt die Zeit an, in welcher eine Position abgesichert (zum Beispiel durch einen Credit Default Swap (CDS)) oder verkauft werden kann. Dadurch soll die Möglichkeit grosser Verluste abgewendet oder zumindest vermindert werden. Eine Haltedauer von 10 Tagen gibt einem Finanzinstitut also 10 Börsentage Zeit um zu handeln. Natürlich ist es nicht möglich, alle Verluste komplett abzuwenden. Das Basler Komitee hat deswegen Vorschriften zur Eigenkapitalisierung von Finanzdienstleistern herausgegeben.[22] Dadurch soll eine ausreichende Liquidität zur Tragfähigkeit solcher möglicher Verluste gewährleistet werden. Die Haltedauer wird auch oft als Liquiditätsperiode bezeichnet (vor allem im Zusammenhang mit der Kreditrisikomessung).

Es ist zu beachten, dass die Haltedauer in Börsentagen angegeben wird. Das Wochenende zählt also nicht dazu. Eine Haltedauer von $\Delta t_H = 10$ entspricht also effektiv 14 Tagen (2 Wochen). Wie es in Abschnitt 3.3.6 schon erwähnt wurde, empfiehlt das Basler Komitee für Marktrisiken eine Haltedauer von 10 Tagen.

3.4.2. Alterung von Instrumenten über Haltedauer

Ein Instrument besitzt zum Zeitpunkt $t + 10$ nicht mehr denselben Wert wie zum Zeitpunkt t. Dies kann mit Hilfe des Present Values (siehe Abschnitt 3.2.5) nachgerechnet werden. Deshalb ist es für die Berechnung einer Wertänderung über die Haltedauer Δt_H entscheidend, ob das Instrument altert oder nicht.

Unter der Annahme, dass ein Instrument altert, wird der Wert vor der Haltedauer für den Zeitpunkt t und nach der Haltedauer für den Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ berechnet. Wenn hingegen angenommen wird, dass ein Instrument nicht altert, wird der Wert vor der Haltedauer für den Zeitpunkt t und der Wert nach der Haltedauer auch für den Zeitpunkt t berechnet.

Hier muss aber wieder zwischen Alterung in Börsentagen und Wochentagen unterschieden werden. Während für die Stochastik Δt in Börsentagen angegeben wird, wird für die Berechnung Δt in Wochentagen benötigt.

Zeitdauer	Δt für Stochastik	Δt für Bewertung
1 Woche	5 Tage	7 Tage
2 Wochen	10 Tage	14 Tage
1 Monat	$\sim$ 20 Tage	$\sim$ 30 Tage
3 Monate	$\sim$ 60 Tage	$\sim$ 90 Tage

Tabelle 3.2.: Unterschiedliche Alterung für Stochastik und Bewertung, Quelle: "Eigene Darstellung"

[22] vgl. Bankenaufsicht, "Internationale Konvergenz der Eigenkapitalmessung und Eigenkapitalanforderungen - Überarbeitete Rahmenvereinbarung".

3.4.3. Wertänderung von Instrumenten über Haltedauer

Es seien:

P^a	Instrumentdaten
r_t^a	Zins (für aktuelle Zeit t)
V_t^a	PV des Bondes a zur Zeit t

Der Present Values des Bondes a zur Zeit t wird also mit Hilfe der Parameter P^a und r_t^a berechnet:

$$V_t^a = V_t(P^a, r_t^a) \tag{3.23}$$

Interessant ist nun aber nicht der Present Value, sondern vor allem die mögliche Wertänderung ΔV_t^a eines Instruments über die Haltedauer Δt_H. Diese kann entweder mit oder ohne Alterung des Instruments über diese Zeitperiode berechnet werden. Mit Alterung des Instruments gilt:

$$\Delta V_t^a = V_{t+\Delta t_H}(P^a, r_{t+\Delta t_H}^a) - V_t(P^a, r_t^a) \tag{3.24}$$

Ohne Alterung gilt:

$$\Delta V_t^a = V_t(P^a, r_{t+\Delta t_H}^a) - V_t(P^a, r_t^a) \tag{3.25}$$

Die Kreditrisiken werden generell mit Alterung der Instrumente gemessen, während die Marktrisiken ohne Alterung der Instrumente gemessen werden.

3.4.4. Gewinn-/Verlustverteilung des Portfolios

Bei der Risikomessung soll nicht nur die Wertveränderung einzelner Instrumente, sondern es sollen die möglichen Wertveränderungen eines gesamten Portfolios berechnet werden. Die Wertveränderung eines Portfolios ΔV_t lässt sich berechnen, indem man die Wertveränderungen der darin enthaltenen Bonds ΔV_t^a aggregiert:

$$\Delta V_t = \sum_{a=1}^{n} \xi^a \, \Delta V_t^a \tag{3.26}$$

Dabei sei ξ^a die Anzahl eines Bonds im Portfolio.

Wenn also ΔV_t für jeden Simulationsdurchgang berechnet wird, ergibt das bei sehr vielen Simulationsdurchgängen eine erhebliche Anzahl an unterschiedlichen Wertveränderungen. Mit all diesen Werten lässt sich eine sogenannte Gewinn-/ Verlustverteilung erstellen. Abbildung 3.8 illustriert, wie eine solche Verteilung aussehen könnte.

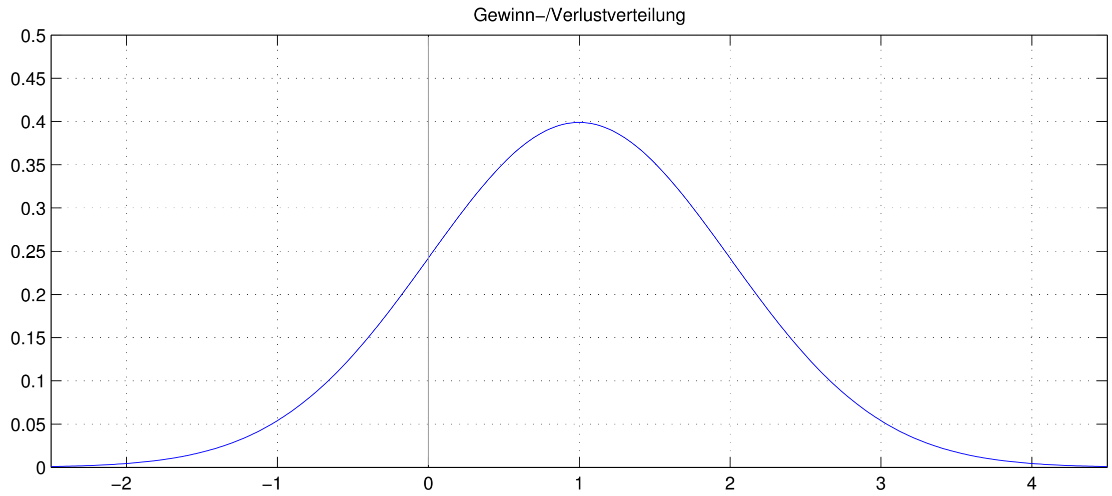

Abbildung 3.8.: Beispiel einer Gewinn-/Verlustverteilung, Quelle: "Eigene Darstellung"

Zu beachten ist hier aber, dass die Gewinn-/Verlustverteilung nicht kontinuierlich, wie in der Abbildung dargestellt, sondern diskret ist. Bei vielen Simulationsdurchläufen kommt sie aber nahe an eine kontinuierliche Funktion heran. Normalerweise wird von einem Portfolio ein Gewinn erwartet, was die Wahrscheinlichkeit eines Gewinnes höher macht, als die Wahrscheinlichkeit eines Verlustes. Wenn dies nicht der Fall wäre, müsste man die Zusammenstellung des Portfolios nochmals überdenken. Schliesslich will ja niemand absichtlich einen Verlust herbeiführen. Die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Wertveränderung ist dort am grössten, wo die Kurve am höchsten ist. Daraus lässt sich auch folgern, dass die Wahrscheinlichkeit eines sehr hohen Gewinnes oder eines sehr hohen Verlustes eher klein ist, da die Kurve gegen die beiden Enden bedeutend flacher wird.

3.4.5. Risikomass: Value at Risk

Als VaR wird der Verlust bezeichnet, welcher innerhalb einer bestimmten Zeitperiode mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (zum Beispiel 99%) nicht überschritten wird. Das Überschreiten des Value at Risk ist also ein relativ unwahrscheinliches Ereignis. Als Kennzahl für Unternehmen darf der VaR einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Dieser Wert ist natürlich von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich.

Aus statistischer Sicht ist der Value at Risk ein Quantil der Gewinn-/Verlustverteilung.[23] Dies bringt den Vorteil mit sich, dass er gegenüber von Ausreissern unempfindlich ist.

[23] vgl. Henking, Bluhm und Fahrmeir, *Kreditrisikomessung*, S. 30.

Ein extrem hoher möglicher Verlust (der Maximalverlust einer Simulation kann theoretisch unbegrenzt sein) hat also keinen Einfluss auf den VaR, solange die Eintretenswahrscheinlichkeit dieses Verlustes klein genug ist. In Abbildung 3.9 ist der VaR zur Veranschaulichung noch grafisch dargestellt.

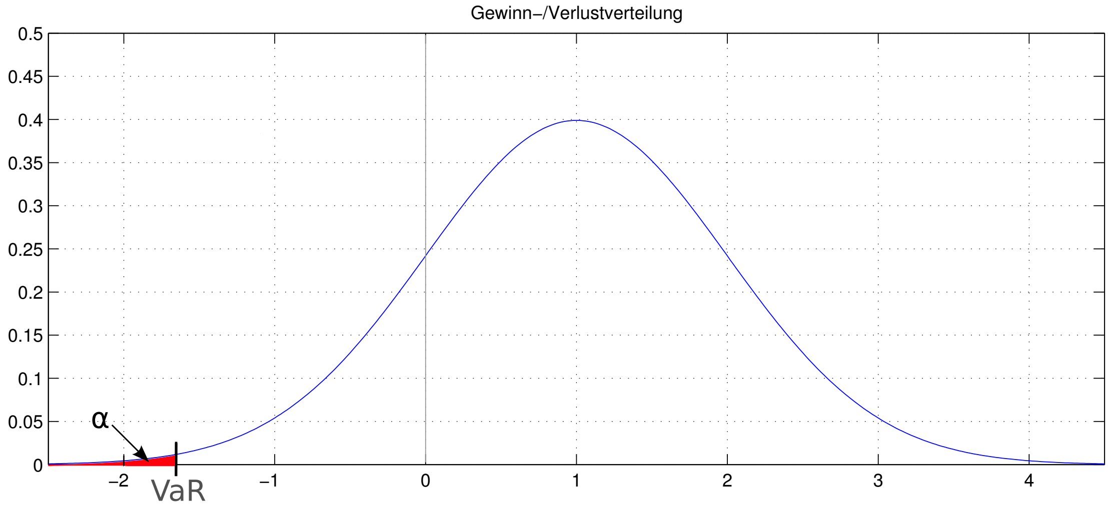

Abbildung 3.9.: Werte ausserhalb des Konfidenzintervalls (rot) und VaR, Quelle: "Eigene Darstellung"

Für die Risikomessung bringt der VaR verschiedene Vorteile mit sich:

- Ist unempfindlich gegenüber Ausreissern.
- Wird als Geldbetrag angegeben und ist somit leicht verständlich.
- Ist aufsichtsrechtlich anerkannt.

Diese Eigenschaften des VaR haben aber auch gewisse Nachteile. So ist der VaR nur ein Punkt in der Gewinn-/Verlustverteilung. Es wird nicht aufgezeigt, wie weit dieser Punkt überschritten werden kann. Vor allem das durchschnittliche Ausmass der Überschreitung können aber neben der Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung durchaus von Interesse sein.[24] Zudem erfüllt der VaR im allgemeinen die sogenannte Subadditivität nicht, die besagt, dass das Verlustpotential eines Portfolios nicht grösser als die Summe der Verlustpotentiale seiner Komponenten sein darf.[25] Dies gilt aber nicht generell und ist in der Praxis nicht so relevant, da normalerweise sehr viele Simulationsdurchläufe gemacht werden, was die Gewinn-/Verlustverteilung beinahe kontinuierlich macht, wodurch die Subadditivität wieder erfüllt wird.

[24] vgl. Strassberger, *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*, S. 64.
[25] vgl. Artzner, Delbaen, Eber und Heath 1999, zitiert in: ebd., S. 65.

In dieser Arbeit wird als Niveau (sogenanntes Konfidenzniveau) des VaR 99% verwendet. Dies ist ein durchaus üblicher Wert in der Risikomessung.[26] Es gilt somit $\alpha = 1\%$.

Für die Risikosteuerung ist der VaR ein typisches Instrument zur Risikobegrenzung oder genauer gesagt zur Risikolimitierung.

3.4.6. Marktrisikomessung

Die Marktrisikomessung wird mit folgenden Parametern gemacht:

$\Delta t_H = 10$	Haltedauer in Tagen
$\alpha = 0.01$	1 - Konfidenzniveau(VaR)
$n = 20000$	Anzahl Szenarien

Zuerst müssen die bestehenden Daten vorbereitet und ausgewertet werden. Das heisst, die Zinskurven werden in Referenzkurve und Spreads zerlegt, und davon werden jeweils die Returns gebildet. Basierend auf diesen Returns wird die gemischte Kovarianz errechnet. Der Erwartungswert ist 0 und muss nicht berechnet werden. Mit diesen Werten als Parameter werden dann Returnszenarien basierend auf der multivariaten Normalverteilung generiert und durch die Wurzel-t-Gleichung für den Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ hochskaliert. Jeder dieser Werte wird dann zum entsprechenden Zins- oder Spreadwert zum Zeitpunkt t addiert, was in verschiedenen Szenarienwerten der Interbankzinsen und Spreads zum Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ resultiert.

Anschliessend wird zuerst der Present Value des Portfolios zum Zeitpunkt t gemessen. Basierend auf den simulierten Zinswerten und Spreads wird dann für jedes Szenario der Present Value des Porftolios zum Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ (ohne Alterung der Instrumente) gemessen. Von diesen Werten wird dann jeweils der errechnete Present Value zum Zeitpunkt t abgezogen, was entweder in einem Gewinn (positives Ergebnis) oder einem Verlust (negatives Ergebnis) resultiert. Für jedes Szenario gibt es also einen bestimmten Gewinn oder Verlust, was zur Gewinn-/Verlustverteilung führt.

Der Value at Risk wird dann als Quantil bei $\alpha = 0.01$ berechnet (siehe Abbildung 3.9). Beim Marktrisiko werden sowohl das Zinsrisiko als auch das Spreadrisiko berücksichtigt. Es seien also:

Allgemeines Zinsrisiko $r^{IB}_{t+\Delta t}(t)$	VaR(IB)
Allgemeines Spreadrisiko $s^{IB}_{t+\Delta t}(t)$	VaR(Sprd)
Allgemeines Zins- und Spreadrisiko	VaR(IB + Sprd)

[26] vgl. Martin Falke. *Stress-Testing im Kreditportfoliomanagement*. 1. Auflage. Duisburg & Köln, Deutschland: WiKu-Verlag Dr. Stein, 2007, S. 11.

3.4.7. Kreditrisikomessung

Bei der Kreditrisikomessung werden folgende Parameter verwendet:

$\Delta t_H = (1, 2, 3, 6)$	Haltedauer in Monaten
$\alpha = 0.01$	1 - Konfidenzniveau(VaR)
$n = 20000$	Anzahl Szenarien

Die Kreditrisikomessung setzt sozusagen auf der Marktrisikomessung auf. Es werden dieselben simulierten Returns verwendet. Allerdings werden diese nicht auf 10 Tage hochskaliert, sondern mit Liquiditätsperioden von 1, 2, 3 und 6 Monaten gerechnet. Für einen Monat wird zum Beispiel auf 20 Tage hochskaliert und der Bond altert dabei 30 Tage (vergleiche Abschnitt 3.4.2 bezüglich Alterung). Diese Returns werden dann wie bei der Marktrisikomessung zu den ursprünglichen Spreads addiert, was dann die Spreads zum Zeitpunkt Δt_H ergibt. Wichtig ist, dass bei der Kreditrisikomessung nur die Spreads simuliert werden. Die Interbankzinsen bleiben fix.

Beim Kreditrisiko spricht man auch häufig von Liquiditätsperiode anstatt von Haltedauer. In einer Krise kann nicht mehr davon ausgegangen werden, dass ein Bond innerhalb von 10 Tagen gekauft oder verkauft werden kann. Bis man zum Beispiel einen Bond verkaufen kann (Liquiditätsperiode von 1, 2, 3 oder 6 Monaten), ist es also möglich, dass der Wert noch abnimmt.

Nun wird wieder für jedes Szenario der Present Value des Portfolios zum Zeitpunkt Δt_H (diesmal mit Alterung der Instrumente) berechnet. Diesem Wert wird dann wiederum der ursprüngliche Present Value des Portfolios zum Zeitpunkt t abgezogen, was wiederum eine Gewinn-/Verlustverteilung ergibt.

Auch von dieser Gewinn-/Verlustverteilung wird der Value at Risk als bei $\alpha = 0.01$ berechnet. Wie bereits erwähnt, besteht hier nur das Spreadrisiko, aber für verschiedene Haltedauern/Liquiditätsperioden:

Allgemeines Spreadrisiko $s^{IB}_{t+\Delta t}(t)$	VaR(Δt, Sprd)

Es resultiert also für jede Liquiditätsperiode eine Kennzahl, mit welcher das Ausfallrisiko gemessen werden kann. Dabei spielt es keine grosse Rolle, welche der Kennzahlen zur "Verfolgung" des Ausfallrisikos genommen wird. Wichtig ist, dass die Limiten für den Handel entsprechend gesetzt sind.

Hier ist anzumerken, dass in dieser Arbeit die möglichen Rating-Migrationen nicht berücksichtigt werden. Das heisst, es wird davon ausgegangen, dass ein Bond während der Laufzeit immer dasselbe Rating besitzt. Dies ist aber in der Realität kaum der Fall.

So waren zum Beispiel bei der Subprime-Krise viele Verluste das Resultat von solchen Rating-Migrationen, die in der Risikomessung zu wenig berücksichtigt wurden.[27]

Hintergrund

Eine Zinskurve wird grundsätzlich aus Preisen von Bonds mit unterschiedlichen Laufzeiten extrahiert. Im Prinzip gibt es also für jeden Emittenten (Firmen, Staaten, Länder/Kantone) eine Zinskurve. Je nach Qualität (zum Beispiel Bonität des Emittenten) liegt die Zinskurve entweder relativ hoch (schlechte Bonität) oder eher niedrig (gute Bonität). Die niedrigsten Zinskurven kommen demnach von sehr gut geführten Firmen oder Staaten mit soliden Staatsfinanzen. Bei diesen Emittenten ist die Chance am grössten, dass der Besitzer am Ende der Laufzeit den Nominal des Bonds zurückbekommt oder anders ausgedrückt: Das Ausfallrisiko ist am kleinsten.

Es wird angenommen, dass es für jede Währung eine risiko-freie[28] Zinskurve gibt. Dies ist die unterste Zinskurve überhaupt. Typischerweise waren das vor der Finanzkrise die Staatsanleihen von Staaten mit soliden Finanzen. Jedoch ist man sich dessen nach der Finanzkrise nicht mehr so sicher.

Grundsätzlich gibt es zwei mögliche Referenzkurven, auf welchen dann die Spreads basieren. Die erste Möglichkeit ist, von dieser risiko-freien Zinskurve auszugehen. Jeder Spread bedeutet dann ein entsprechend höheres Ausfallrisiko. Das Problem hier ist, dass die Government-Bonds, auf welchen diese risiko-freie Zinskurve basiert, nicht sehr liquide sind. Deshalb wird von einer anderen Referenzkurve ausgegangen, nämlich der Interbankenzinskurve. Diese wird überjährig aus Swap Rates und unterjährig aus Geldmarkt-Instrumenten (z.B. Futures auf LIBOR-Sätze) extrahiert, worauf schon in Abschnitt 3.1 eingegangen wurde. Swaps und Geldmarkt-Instrumente sind sehr liquide, allerdings ist die Kurve nicht mehr ausfallrisiko-frei. Denn wie es die Finanzkrise gezeigt hat, können auch Banken Konkurs gehen. Vor der Krise waren alle Swaps zwischen den Banken ungesichert, während jetzt mehrheitlich Sicherheiten hinterlegt werden.

Für die Anwendung in dieser Arbeit bilden also die Interbankenzinsen die Referenzkurve. Darum sind zum Beispiel die Spreads für Government-Zinsen negativ (siehe Abbildung 3.5 in Abschnitt 3.3.2). Obwohl die Interbankenzinskurve nicht ganz ausfallrisiko-frei ist, wird das Risiko relativ zu dieser Zinskurve gemessen. Die Bewegung der Spread-Kurve eines Emittenten relativ zur Interbankenkurve widerspiegelt dabei das jeweilige Ausfallrisiko.

Gemäss Abschnitt 3.1 sind die Ratingspread-Kurven gegeben. Dies sind Durchschnittswerte von Emittenten mit einem solchen Rating. Anhand vom Ratingspread wird also

[27]vgl. Bankenaufsicht, "Guidelines for computing capital for incremental risk in the trading book", S. 1.
[28]risiko-frei gegen Ausfall

das mittlere Ausfallrisiko von Emittenten mit diesem Rating wiedergegeben. Voraussetzung für die Verbindung von Spreadrisiko mit Ausfallrisiko für einen Emittenten einer bestimmten Bonität ist aber, dass der Emittent während der Laufzeit nicht die Bonitätsklasse wechselt. In der Implementierung ist dieses mögliche Ereignis also nicht abgedeckt.

Ausfallrisiko

Das eigentliche Ausfallrisiko lässt sich mit dem Spreadrisiko nur schwer in Zusammenhang bringen. Der Zusammenhang kann jedoch theoretisch mit einem kleinen Beispiel gezeigt werden. In der Praxis ist das aber etwas schwieriger.

Für einen Zero-Coupon Bond mit einer Restlaufzeit von 1 Jahr seien:

P	Marktpreis des Bonds (Dirty Price)
z_f	Risiko-freier Zins (hier IB-Zins)
z	Risiko-behafteter Emittenten-Zins
N	Nominalwert
p	Ausfallwahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres
R	Recovery-Rate nach einem Ausfall

Der Preis ist dann einerseits

$$P = \frac{N}{1+z} \tag{3.27}$$

und andererseits

$$P = \frac{N}{1+z_f}\,(1-p) + \frac{RN}{1+z_f}\,p \tag{3.28}$$

wenn p eine Bernoulli-Variable ist. Falls ein Bond also nicht ausfällt (Wahrscheinlichkeit $1-p$), erhält der Besitzer am Ende der Laufzeit N zurück. Der Present Value davon ist $N/(1+z_f)$. Falls der Bond ausfällt (Wahrscheinlichkeit p), erhält der Besitzer am Ende der Laufzeit RN, was einem Present Value von $(RN)/(1+z_f)$ entspricht. Die Gleichungen 3.27 und 3.28 können zusammengefasst und etwas umgeformt werden, was dann

$$1+z_f = (1+z)\,(1-p(1-R)) \tag{3.29}$$

ergibt. Durch Vernachlässigung von quadratischen Termen folgt daraus

$$z = z_f + p(1-R) \tag{3.30}$$

, wobei der Spread $z - z_f$ ist und demnach $p(1 - R)$ entspricht. Als Merksatz gilt:

$$Spread = Ausfallwahrscheinlichkeit\ (1 - RecoveryRate)$$

Anhand dieses Beispiels ist auch zu sehen, dass das Spreadrisiko nicht nur auf Veränderungen der Ausfallwahrscheinlichkeit basiert, sondern auch von der Recovery Rate beeinflusst wird. Davon ausgehend, dass die Recovery Rate konstant ist, so ist die Beziehung zwischen Spread und Ausfallwahrscheinlichkeit etwa 1:1. Das obige Beispiel ist relativ einfach, entspricht somit nicht ganz der Praxis, wo der beschriebene Weg komplizierter ist.

4. Implementation

4.1. Software

Die Implementation wurde mit MATLAB gemacht. Dies ist eine kommerzielle Software des Unternehmens *The Mathworks, Inc.*[1], welche im Speziellen zur Lösung von mathematischen Problemen eingesetzt wird. Ausserdem unterstützt MATLAB die grafische Darstellung von Resultaten. So wurden viele Abbildungen in dieser Arbeit mit MATLAB erstellt (siehe zum Beispiel Abbildungen 3.1, 3.2, etc.). Die für diese Arbeit eingesetzte Version ist die *MATLAB 7.8.0 (R2009a) Student Version*.

Programmiert wird unter MATLAB in einer proprietären Programmiersprache, deren Stärken vor allem bei numerischen Berechnungen mit Hilfe von Matrizen liegen. Daraus leitet sich auch der Name MATLAB ab (MATrix LABoratory). Seit der Version R2008a unterstützt MATLAB Konzepte der Objektorientierung wie Klassen und Vererbung. Objektorientierte Programmierung in MATLAB ist also relativ neu und dementsprechend noch nicht so stark verbreitet.

4.2. Architektur

Bei dieser Arbeit wurde mehrheitlich objektorientiert programmiert. Dies einerseits, um die Realität etwas genauer abzubilden und andererseits um die Übersichtlichkeit des Codes zu verbessern. Folgende drei Klassen wurden implementiert:

- InterestRates
- Bond
- BondPortfolio

Abbildung 4.1 zeigt das Klassendiagramm mit den drei oben aufgeführten Klassen. Ein Objekt der Klasse *BondPortfolio* kann mehrere Objekte der Klasse *Bond* besitzen, während jedes Objekt der Klasse *Bond* ein Objekt der Klasse *InterestRates* besitzt. Hier ist jedoch anzumerken, dass es insgesamt nur ein Objekt der Klasse *InterestRates* gibt. Dieses enthält alle Zins- und Returnkurven, auf welchen dann die eigentliche Simula-

[1] `www.mathworks.com`

tion gemacht wird. In den Objekten der Klasse *Bond* hat es also nur einen Pointer auf das *InterestRates*-Objekt.

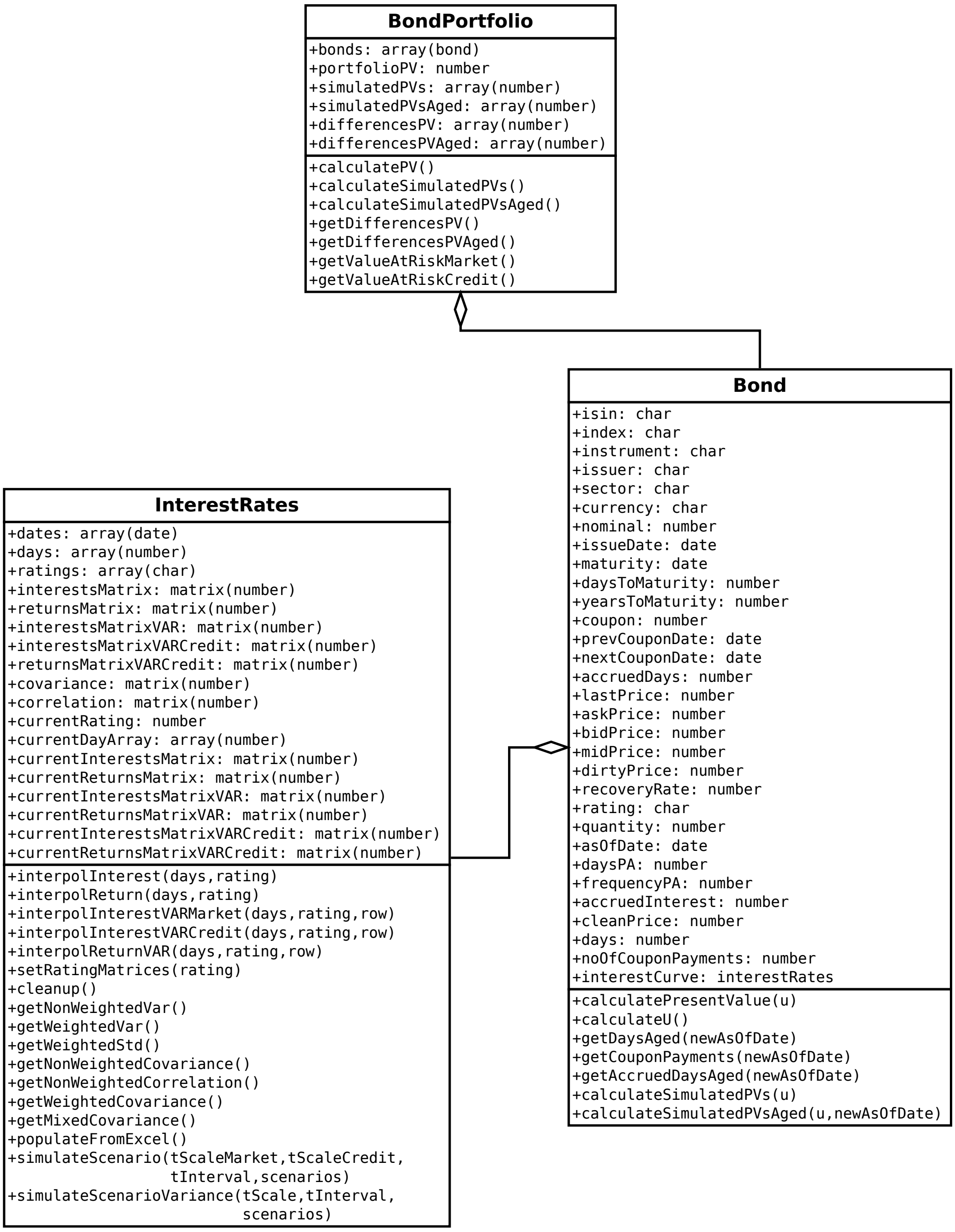

Abbildung 4.1.: Klassendiagramm der Implementation, Quelle: "Eigene Darstellung"

Die Instanzierung der Objekte und die Steuerung der Simulation wird von einer separaten *main*-Prozedur gemacht. Der grobe Ablauf dieser Prozedur sieht folgendermassen aus:

1. Lesen der Bonds aus Excel-Tabelle und Instanzieren der Bond-Objekte
2. Lesen der Zinsen aus Excel-Tabelle und Instanzieren des InterestRates-Objektes
3. Simulieren der Szenarien auf dem InterestRates-Objekt
4. Errechnen der aktuellen und simulierten Present Values der Bonds
5. Instanzieren des BondPortfolio-Objektes und Erstellen der Gewinn-/Verlustverteilung
6. Berechnen des Value at Risk vom Portfolio für Markt- und Kreditrisiko

Vom Code her wurde die Applikation relativ schlank gehalten. Die Anzahl Zeilen (*Phyical Source Lines of Code*) beläuft sich auf circa 900. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auf die üblichen *Getter*- und *Setter*-Methoden, welche nur Werte von Eigenschaften abfragen oder setzen, verzichtet wurde, weil solche Methoden aus der Sicht des Autors keinen Mehrwert gebracht hätten.

4.3. Umsetzung

In diesem Abschnitt soll die Umsetzung von diversen Teilproblemen aufgezeigt werden. Der Anspruch ist es nicht, die gesamte Implementation zu erklären, sondern viel mehr die interessantesten Teile der Implementation zu zeigen und zu beschreiben. Allerdings ist der komplette Code auf der beigelegten CD abgelegt.

4.3.1. Daten

Die Zinsdaten und die Bondportfolios sind jeweils in einer Excel-Datei abgespeichert und werden durch das Programm ausgelesen. Dies wird mit der vordefinierten Funktion *xlsread()* gemacht, die aus einer Excel-Tabelle zwei MATLAB-Matrizen erstellt. Während eine Matrix die numerischen Werte beinhaltet, werden in der anderen Matrix die Character-Werte gespeichert.

```
% read data from .xls file
xlsFile = 'Testbond_zero.xls';
[num, txt] = xlsread(xlsFile);
```

Abbildung 4.2.: Auslesen der Bond-Daten mit xlsread(), Quelle: "Eigene Darstellung"

Abbildung 4.2 zeigt wie die Daten ausgelesen werden. In diesem Fall werden in der Matrix *num* die numerischen Werte gespeichert, während in der Matrix *txt* die Character-Werte gespeichert werden.

4.3.2. Instanzieren der Objekte

Mit den ausgelesenen Daten werden dann die einzelnen Objekte instanziert. Die Instanzierung wird jeweils mit Konstruktoren gemacht. Als Parameter werden die einzelnen Werte der beiden Matrizen *num* und *txt* übergeben. Abbildung 4.3 zeigt, wie dies für die Bonds gemacht wird. Hier ist zur berücksichtigen, dass in einem Objekt der Klasse Bond auch schon die Anzahl dieses Bonds im Porftolio gespeichert ist (siehe Zeile 26).

```
1  % create objects for bonds
2  for i = 1:1:countBonds
3      row = i+1;
4      bondObject(i) = bond(txt(row,1)... % isin
5                          ,txt(row,2)... % index
6                          ,txt(row,3)... % instrument
7                          ,txt(row,4)... % issuer
8                          ,txt(row,5)... % sector
9                          ,txt(row,6)... % currency
10                         ,num(row,1)... % nominal
11                         ,num(row,2)+dateConstant... % issueDate
12                         ,num(row,3)+dateConstant... % maturity
13                         ,num(row,4)... % daysToMaturity
14                         ,num(row,5)... % yearsToMaturity
15                         ,num(row,6)... % coupon
16                         ,num(row,7)+dateConstant... % prevCouponDate
17                         ,num(row,8)+dateConstant... % nextCouponDate
18                         ,num(row,9)... % accruedDays
19                         ,num(row,10)... % lastPrice
20                         ,num(row,11)... % askPrice
21                         ,num(row,12)... % bidPrice
22                         ,num(row,13)... % midPrice
23                         ,num(row,14)... % dirtyPrice
24                         ,num(row,15)... % recoveryRate
25                         ,txt(row,23)... % rating
26                         ,num(row,16)... % quantity
27                         ,interest); % interestCurve (handle)
28 end
```

Abbildung 4.3.: Instanzierung von Objekten der Klasse Bond, Quelle: "Eigene Darstellung"

4.3.3. Clean und Dirty Price

Gegeben in der Excel Tabelle ist der Dirty Price, also der Preis, zu welchem der Bond an der Börse gehandelt wird. Der Clean Price wird dann entsprechend Abschnitt 3.2.6 berechnet. Dies wird bereits im Konstruktor gemacht, also wenn ein Bond-Objekt instanziert wird (siehe Abbildung 4.4). Ebenso wird auch schon die Anzahl Coupons für diesen Bond berechnet, welche später für die Present Value Berechnung benötigt wird.

```
bond.asOfDate = datenum('27/11/2009', 'dd/mm/yyyy'); % constant value
bond.daysPA = 365; % constant value
bond.frequencyPA = 1; % constant value
bond.accruedInterest = bond.coupon * bond.nominal * (bond.accruedDays ...
                       /(bond.daysPA/bond.frequencyPA)); % calculated
bond.cleanPrice = dirtyPrice - bond.accruedInterest/ ...
                  bond.nominal*100; % calculated
bond.days = bond.maturity-bond.asOfDate; % calculated
bond.noOfCouponPayments = ceil(bond.days/ ...
                          (bond.daysPA/bond.frequencyPA)); % calculated
```

Abbildung 4.4.: Berechnung bestimmter Werte im Konstruktor, Quelle: "Eigene Darstellung"

4.3.4. Present Value

Essentiell zur Berechnung des Present Values ist der jeweilige Abzinsungssatz, welcher sich aus dem Interbankenzins, dem Ratingspread und dem Kalibrierungsspread zusammensetzt. Dieser Abzinsungssatz wird für jeden Cashflow neu berechnet. Dazu werden der Interbankenzins und der Ratingspread an der Zinskurve interpoliert (siehe Abschnitt 3.1.3), während der Kalibrierungsspread ein konstanter Wert ist und als Parameter übergeben wird. Die Berechnung des Kalibrierungsspread wird im Abschnitt 4.3.5 behandelt.

Gemäss Abbildung 4.5 kann die Berechnung des Present Values in die folgenden drei Teilschritte unterteilt werden:

1. Berechnung des PV für die nächste Zinszahlung unter Berücksichtigung der aufgelaufenen Zinsen (Zeilen 5 - 8)
2. Iterative Erhöhung des PV für jede weitere Zinszahlung (Zeilen 10 - 16)
3. Erhöhung des PV durch den Nominal, welcher am Ende der Laufzeit zurückbezahlt wird (Zeilen 18 - 19)

```
% Get the present value
function presentValue = calculatePresentValue(obj,u)

    % Calculation of accrued interest
    intDays=obj.daysPA-obj.accruedDays;
    interestRate=interpolInterest(obj.interestCurve,intDays,obj.rating);
    presentValue=(obj.nominal*obj.coupon)/ ...
                 (1+interestRate+u)^(intDays/obj.daysPA);
    % All coupon payments
    for t=2:obj.noOfCouponPayments
        intDays=intDays+obj.daysPA;
        interestRate=interpolInterest(obj.interestCurve, ...
                                      intDays,obj.rating);
        presentValue=presentValue+(obj.nominal*obj.coupon)/ ...
                     (1+interestRate+u)^(intDays/obj.daysPA);
    end
    % Payback of nominal
    presentValue=presentValue+(obj.nominal)/ ...
                 (1+interestRate+u)^(intDays/obj.daysPA);

end
```

Abbildung 4.5.: Berechnung des Present Values, Quelle: "Eigene Darstellung"

4.3.5. Kalibrierung

Die Kalibrierung dient, wie in Abschnitt 3.2.7 beschrieben, der Bestimmung des Kalibrierungsspread. Dies ist in der vorliegenden Arbeit der emittenten- und instrumentenspezifische Spread, welcher anhand des Marktpreises, der Interbankenzinskurve und des Ratingspreads berechnet wird. Wie bereits erwähnt, kann die Kalibrierung normalerweise nicht von Hand gemacht werden, da sie sehr viele Rechenschritte benötigt. Hier kommt der Vorteil einer Implementation also voll zum Tragen. In dieser Arbeit wurde für die Kalibrierung das *Bisektions-Verfahren* angewendet.

Unter Verwendung des Bisektions-Verfahrens wird der Kalibrierungsspread solange angepasst, bis der berechnete Present Value näherungsweise dem Dirty Price entspricht. Dazu werden ein Maximum und ein Minimum definiert, zwischen denen der Wert liegen muss. Da es aber zwischen dem Maximum und dem Minimum unendlich viele Werte hat, muss auch definiert werden, wie genau der Kalibrierungsspread bestimmt werden soll. Dazu wird hier die Variable e (theoretisch und in den Formeln ε) gesetzt, die bestimmt, ab welcher Präzision der errechnete Wert als gut genug erachtet wird.

```matlab
% Calculate uSpread
function u = calculateU(obj)
    a = -0.1; % minimum
    b = 0.1;  % maximum
    e = 0.000001; % precision

    fa=obj.dirtyPrice/100*obj.nominal-calculatePresentValue(obj,a);
    fb=obj.dirtyPrice/100*obj.nominal-calculatePresentValue(obj,b);

    if fa*fb>0
        error('MATLAB:incorrectValue',...
            'function values of endpoints must differ in sign');
    end

    % number of iterations required to obtain an error smaller than
    % epsilon (e)
    maxIt=round((log(b-a)-log(e))/log(2));
    k=0;
    while k<maxIt && b-a>e
        k=k+1;
        c=(a+b)/2;
        fc=obj.dirtyPrice-calculatePresentValue(obj,c);
        if fc==0
            a=c;
            b=c;
        elseif fa*fc<0
            b=c;
            fb=fc;
        elseif fb*fc<0
            a=c;
            fa=fc;
        else
            error('MATLAB:incorrectValue', ...
                  'function f has to be continuous');
        end
    end
    c=(a+b)/2;
    u = c;
end
```

Abbildung 4.6.: Kalibrierung mit Verwendung des Bisektions-Verfahren, Quelle: "Eigene Darstellung"

Das Vorgehen kann etwa so beschrieben werden (vergleiche Abbildung 4.6):

1. Setzen von Minimum (a) und Maximum (b), was das Intervall $[a, b]$ gibt.
2. Definieren von ε.

3. Teilen von $[a, b]$ in der Mitte (ergibt c) und überprüfen, in welchem Teilintervall der Kalibrierungsspread liegt.
4. Je nachdem $a = c$ oder $b = c$ setzen und Schritte 3 und 4 solange wiederholen, bis $[a, b] < \varepsilon$ zutrifft.
5. Der Kalibrierungsspread (hier u) entspricht dem Punkt c.

Der Algorithmus endet also spätestens dann, wenn das Intervall die Länge ε unterschreitet, also bei

$$\frac{b-a}{2^n} < \varepsilon \tag{4.1}$$

wenn n die Anzahl Durchgänge ist. Umgeformt ergibt das

$$\log_2 \frac{b-a}{\varepsilon} < n \tag{4.2}$$

zur Berechnung von n (siehe Zeile 17 in Abbildung 4.6).

4.3.6. Gemischte Kovarianzmatrix

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, wie die gemischte Kovarianzmatrix der Returns berechnet wird. Die Kovarianzmatrix ist ein Parameter für die multivariate Normalverteilung und muss also berechnet werden, bevor die Szenarien simuliert werden können. Dazu müssen zuerst mal die Zinsen (Interbank, Government und Corporate) eingelesen und zerlegt werden. Dies wird theoretisch in Abschnitt 3.3.2 behandelt. Wie die Zerlegung implementiert wurde, wird hier nicht noch speziell aufgeführt, da die entsprechenden Operationen relativ simpel sind.

```
% Get weighted variance
function weightedVar = getWeightedVar(obj)
    lambda = 0.94; % recommended value by RiskMetrics Group
    length = size(obj.returnsMatrix,1); % length of input
    dummyWeight = zeros(1,length); % preallocation
    value = 1; % dummy value
    for i = length:-1:1
        value = value*lambda;
        dummyWeight(i) = value;
    end
    weight = dummyWeight/sum(dummyWeight);
    weightedVar = var(obj.returnsMatrix,weight);
end
```

Abbildung 4.7.: Berechnung der gewichteten Varianz, Quelle: "Eigene Darstellung"

Gemäss der Formel 3.19 in Abschnitt 3.3.5 werden zur Berechnung der gemischten Kovarianzmatrix die jeweilig gewichteten Varianzen und die gleichgewichtete Korrelationsmatrix benötigt. Die gewichteten Varianzen werden mit der Funktion *getWeightedVar()* berechnet, welche in Abbildung 4.7 gezeigt wird. Die Operationen in dieser Funktion stimmen nicht genau mit den Operationen überein, wie sie in der Gleichung 3.18 beschrieben sind. Das liegt daran, dass zuerst nur ein Vektor mit den Gewichtungen erstellt wird. Hier wird zuerst also ein Wert gesetzt (Zeile 6 in Abbildung 4.7) und dann für jedes Return-Datum mal λ (also 0.94) gerechnet. Zum Schluss werden die Werte im Vektor noch angepasst, dass die Bedingung aus der Gleichung 3.15 zutrifft. Zur Überschaubarkeit sei diese hier noch einmal aufgeführt:

$$\sum_{r=1}^{n} \alpha_r = 1$$

Danach hat man also die Matrix mit den Returns und einen Vektor mit der Gewichtung, die angibt, wie stark die einzelnen Returns zu gewichten sind. Die gewichtete Kovarianzmatrix wird dann durch die MATLAB-interne Funktion *var()* (für *variance* - nicht zu verwechseln mit dem *VaR*!) berechnet, indem als Parameter die Matrix mit den Returns und der Vektor mit der Gewichtung übergeben werden (siehe Zeile 12 in Abbildung 4.7).

Die gleichgewichtete Korrelationsmatrix kann in MATLAB sehr einfach mit der MATLAB-internen Funktion *corrcoef()* berechnet werden, indem man die Matrix mit den Returns als Parameter übergibt. Anschliessend gilt es, die errechneten Werte gemäss der Formel 3.19 in eine gemischte Kovarianzmatrix umzuwandeln. Für diesen Zweck ist die Funktion *getMixedCovariance()* da (siehe Abbildung 4.8, speziell Zeilen 11 und 12).

Anzumerken ist hier, dass nicht wirklich die Funktion zum Erhalt der gewichteten Varianz - wie in Abbildung 4.7 gezeigt - aufgerufen wird, sondern eine beinahe identische Funktion, welche aber anstatt der Varianz die Standardabweichung (Wurzel der Varianz) zurück gibt. Gemäss Formel 3.19 wird nämlich die Standardabweichung und nicht die Varianz zur Berechnung der gemischten Kovarianzmatrix benötigt.

4.3.7. Szenario-Erzeugung

Nachdem die Zinskurven zerlegt wurden und die gemischt Kovarianzmatrix berechnet wurde, werden die Szenarien erzeugt. Das heisst, es werden mittels der multivariaten Normalverteilung (siehe Abschnitt 3.3.3) mögliche Returns für den Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ generiert.

```
% Get mixed covariance
function mixedCovariance = getMixedCovariance(obj)

    [rows,columns] = size(obj.returnsMatrix); % get dimensions
    std = getWeightedStd(obj);
    mixedCovariance = zeros(columns,columns); % preallocation
    nonWeightedCorrelation = getNonWeightedCorrelation(obj);

    for i = 1:1:columns
        for j = 1:1:columns
            mixedCovariance(i,j) = nonWeightedCorrelation(i,j) ...
                                   *std(i)*std(j);
        end
    end
end
```

Abbildung 4.8.: Berechnung der gemischten Kovarianzmatrix, Quelle: "Eigene Darstellung"

Für die Generierung der Szenarien ist in der Implementation die Funktion *simulateScenario()* (siehe Abbildung 4.9) zuständig. Die Parameter sind:

tScaleMarket	Haltedauer Δt_H für Marktrisiko.
tScaleCredit	Haltedauer Δt_H für Kreditrisiko.
tInterval	Zeitintervall Δt der Returns (hier 1 Tag).
scenarios	Anzahl Szenarien, die simuliert werden sollen.

Der Parameter *obj* ist das Objekt der Klasse *InterestRates*, welches übergeben werden muss, da *simulateScenario()* eine Methode dieser Klasse ist. Das ist so üblich bei objektorientierter Programmierung in MATLAB. Alle anderen Parameter, die zur Simulation benötigt werden (wie z.B. Kovarianzmatrix), wurden vorgängig schon als Eigenschaft des Objekts gespeichert.

Im Code ist zu sehen, wie auf Zeile 9 der Vektor mit den Erwartungswerten erstellt wird. Dies ist nichts weiteres als ein Vektor mit Nullen, was im Abschnitt 3.3.4 begründet wurde. Die eigentliche Szenario-Erzeugung passiert in den Zeilen 12 und 13. Genauer gesagt, ist dafür die Funktion *mvnrnd()* zuständig, welche eine MATLAB-interne Funktion zur Generierung von Werten gemäss der multivariaten Normalverteilung ist. Die Parameter dazu sind der Vektor mit den Erwartungswerten, die gemischte Kovarianzmatrix und die Anzahl der zu erzeugenden Szenarien. Im gleichen Schritt wird auch schon die Skalierung per Wurzel-t Gesetz auf Δt_H für das Marktrisiko gemacht. Für die Skalierung auf Δt_H für das Kreditrisiko werden dieselben Szenarien verwendet und einfach etwas anders skaliert. Es werden also nicht zwei separate Szenarien generiert, was auch nicht einer integrierten Kredit- und Marktrisikomessung entspräche.

```
% Simulate interest changes
function simulateScenario(obj,tScaleMarket,tScaleCredit,tInterval, ...
                          scenarios)

    % Cleanup current values
    cleanup(obj);

    % Expected vector full of zeros
    expectedVector = zeros(1,size(obj.returnsMatrix,2));

    % Create scenario
    obj.returnsMatrixVAR = mvnrnd(expectedVector,obj.covariance, ...
                           scenarios)*sqrt(tScaleMarket/tInterval);
    obj.returnsMatrixVARCredit = obj.returnsMatrixVAR/ ...
                                 sqrt(tScaleMarket/tInterval)* ...
                                 sqrt(tScaleCredit/tInterval);

    % Preparation for interest calculation
    interestsNow = obj.interestsMatrix(size(obj.interestsMatrix,1),:);
    obj.interestsMatrixVAR = zeros(size(obj.returnsMatrixVAR,1), ...
                        size(obj.returnsMatrixVAR,2)); % preallocation
    obj.interestsMatrixVARCredit = zeros(size(obj.returnsMatrixVAR,1), ...
                        size(obj.returnsMatrixVAR,2)); % preallocation

    % Add simulated returns to interests
    for i = 1:1:size(obj.returnsMatrixVAR,1)
        obj.interestsMatrixVAR(i,:) = interestsNow + ...
                                      obj.returnsMatrixVAR(i,:);
        obj.interestsMatrixVARCredit(i,:) = interestsNow + ...
                                      obj.returnsMatrixVARCredit(i,:);
    end
end
```

Abbildung 4.9.: Simulieren von Szenarien mit der multivariaten Normalverteilung, Quelle: "Eigene Darstellung"

Zum Schluss werden die generierten Return-Szenarien zu den aktuellen Zins- und Spread-Werten addiert, was die Zinsen und Spreads für den Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ (jeweils für das Markt- und das Kreditrisiko) ergibt. Denn zur Berechnung des Present Values zum Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ werden die Zinsen und Spreads und nicht die jeweiligen Returns benötigt.

4.3.8. Simulierte Present Values

Um den allfälligen Gewinn oder Verlust zu berechnen, müssen nun die Present Values basierend auf den generierten Zinsen und Spreads berechnet werden. Bei den Marktrisiken ist das Vorgehen beinahe identisch mit dem in Abschnitt 4.3.4 beschriebenen Vorgehen. Da hier der Present Value ohne Alterung des Instruments gerechnet wird, müssen nur anstatt der Zins- und Spread-Werte zum Zeitpunkt t die Werte zum Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ benutzt werden.

Bei den Kreditrisiken wird hingegen die Alterung von Instrumenten berücksichtigt, wie es im Abschnitt 3.4.3 im Theorie-Teil beschrieben ist. Ebenso werden nur die Spreadrisiken in die Rechnung einbezogen. Grundsätzlich funktioniert die Berechnung aber gleich wie die schon gezeigte Present Value Berechnung (siehe Abbildung 4.5. Es sind drei Punkte die man speziell beachten muss:

1. Die Anzahl Tage bis zur ersten Coupon-Zahlung werden anders sein.
2. Die Anzahl Coupons insgesamt kann kleiner sein.
3. Die Interbankzinsen bleiben fix.

Angenommen ein Instrument hat die nächste Zahlung des Coupons in 20 Tagen und insgesamt 5 Coupon-Zahlungen. Wenn das Instrument jetzt 30 Tage altert, gibt es für dieses Instrument nur noch 4 Coupon-Zahlungen und die nächste Coupon-Zahlung ist demzufolge erst wieder in 355 Tagen. Um diese Änderungen zu berechnen, gibt es ein paar simple Funktionen, welche in Abbildung 4.10 aufgeführt sind. Anhand von diesen Werten wird dann der Present Value berechnet.

Die Present Value Berechnungen für Marktrisiken und Kreditrisiken basieren also auf unterschiedlichen Werten. Ebenso muss berücksichtigt werden, dass es insgesamt nur ein Objekt der Klasse *InterestRates* gibt, wo die Werte für den entsprechenden Bond extrahiert werden müssen. Um die jeweils relevanten Werte zur Berechnung zu erhalten gibt es die Funktion *setRatingMatrices()*, welche hier allerdings wegen ihrer Grösse nicht abgebildet wird. Als Parameter wird der Funktion das Rating des aktuellen Bonds übergeben. Dadurch werden folgende Matrizen für das übergebene Rating zusammengestellt:

currentInterestsMatrix	Zinsen und Spreads
currentReturnsMatrix	Returns
currentInterestsMatrixVAR	Simulierte Zinsen und Spreads
currentReturnsMatrixVAR	Simulierte Returns für Zinsen und Spreads
currentInterestsMatrixVARCredit	Fixe IB Zinsen und simulierte Spreads
currentReturnsMatrixVARCredit	Simulierte Returns für Spreads

```
% Get days for aged bond
function daysAged = getDaysAged(obj,newAsOfDate)
    daysAged = obj.maturity-newAsOfDate;
end

% Number of coupon payments for aged bond
function noOfCouponPayments = getCouponPaymentsAged(obj,newAsOfDate)
    daysAged = getDaysAged(obj,newAsOfDate);
    noOfCouponPayments = ceil(daysAged/(obj.daysPA/obj.frequencyPA));
end

% Accrued days for aged bond
function accruedDays = getAccruedDaysAged(obj,newAsOfDate)
    daysAged = getDaysAged(obj,newAsOfDate);
    accruedDays = obj.daysPA-mod(daysAged,obj.daysPA);
end
```

Abbildung 4.10.: Berechnen von diversen Werten für gealterte Instrumente, Quelle: "Eigene Darstellung"

Die Matrizen *currentInterestsMatrixVAR* und *currentReturnsMatrixVAR* dienen als Basis für das Marktrisiko, während die Matrizen *currentInterestsMatrixVARCredit* und *currentReturnsMatrixVARCredit* nur das Spreadrisiko berücksichtigen und darum für die Kreditrisikomessung verwendet werden. Alle oben aufgeführten Matrizen werden auch für die Interpolation bezüglich der Laufzeiten verwendet (siehe Abschnitt 3.1.3 im theoretischen Teil).

4.3.9. Portfolio

Die Gewinn-/Verlustverteilung soll ja nicht von den einzelnen Bonds sondern von einem Portfolio mit Bonds gemacht werden. In der Implementation wird das Portfolio erst relativ spät gebildet. Zuerst werden die Bonds instanziert und deren aktuelle und simulierte Present Values werden auch schon berechnet, bevor das Portfolio gebildet wird. Erst dann wird das Portfolio-Objekt erstellt. Dies wird wiederum mit einem Konstruktor gemacht, wie in Zeile 2 in Abbildung 4.11 zu sehen ist. Die Variable *bondObject* ist hier ein Vektor mit allen Bonds. Die jeweilige Anzahl Wertpapiere ist im *bondObject* gespeichert.

Die nach der Bildung aufgerufenen Methoden zum Berechnen diverser Portfolio-Werte sind relativ simpel. So zeigt Abbildung 4.12, wie zum Beispiel der Present Value eines Portfolios berechnet wird. Dasselbe wird mit den simulierten Present Values gemacht (je einmal für Markt- und Kreditrisiko) und danach wird jeweils die Differenz zwischen dem simulierten und dem aktuellen Present Value erstellt. Je nachdem ist das

```
1  % Instance new portfolio
2  portfolioObject(i) = bondPortfolio(bondObject);
3
4  % Get current present value
5  portfolioObject(i).portfolioPV = calculatePV(portfolioObject(i));
6
7  % Get present values of simulated sceanrios
8  portfolioObject(i).simulatedPVs = ...
9              calculateSimulatedPVs(portfolioObject(i));
10 portfolioObject(i).simulatedPVsAged = ...
11             calculateSimulatedPVsAged(portfolioObject(i));
12
13 % Calculate all differences
14 portfolioObject(i).differencesPV = ...
15             getDifferencesPV(portfolioObject(i));
16 portfolioObject(i).differencesPVAged = ...
17             getDifferencesPVAged(portfolioObject(i));
18
19 % Calculate VAR
20 valueAtRiskMarket(i) = getValueAtRiskMarket(portfolioObject(i));
21 valueAtRiskCredit(i) = getValueAtRiskCredit(portfolioObject(i));
```

Abbildung 4.11.: Bildung des Portfolios und Berechnungen, Quelle: "Eigene Darstellung"

ein Gewinn (positiver Wert) oder ein Verlust (negativer Wert). Daraus resultiert dann schon die Gewinn-/Verlustverteilung, welche zur Berechnung des VaR nötig ist.

Der VaR wird schliesslich in den Zeilen 20 und 21 von Abbildung 4.12 berechnet. Wie dies genau gemacht wird, zeigt der folgende Abschnitt 4.3.10.

```
1  % Calculate present value of portfolio
2  function portfolioPV = calculatePV(obj)
3      % Start with 0
4      portfolioPV = 0;
5      % Calculate sum
6      for i = 1:1:size(obj.bonds,2)
7          portfolioPV = portfolioPV + ...
8                         obj.bonds(i).presentValue*obj.bonds(i).quantity;
9      end
10 end
```

Abbildung 4.12.: Berechnung des Present Values eines Portfolios, Quelle: "Eigene Darstellung"

4.3.10. Value at Risk

Wie schon in Abschnitt 3.4.5 erwähnt, ist der Value at Risk ein Quantil der Gewinn-/Verlustverteilung. Um ein Quantil zu berechnen besitzt MATLAB eine Funktion namens *quantile()*. Als Parameter wird ein Vektor mit den errechneten Werten und α (hier 1%) übergeben. Der Rückgabewert ist dann der Value at Risk.

```matlab
% Get value at risk (market risk: not aged)
function valueAtRiskMarket = getValueAtRiskMarket(obj)
    valueAtRiskMarket = quantile(obj.differencesPV,0.01);
end
```

Abbildung 4.13.: Berechnung des Value at Risk, Quelle: "Eigene Darstellung"

Abbildung 4.13 zeigt, wie dies für das Marktrisiko gemacht wird. Für das Kreditrisiko steht eine beinahe identische Funktion zur Verfügung, wo aber die Kreditrisikorelevanten Werte zur Berechnung genommen werden.

5. Messwerte und Fazit

5.1. Portfolios und Resultate

Um die Implementation anzuwenden, wurden drei Portfolios aus am Markt gehandelten Bonds zusammengestellt. Die Portfolios unterscheiden sich voneinander anhand der Qualität der darin enthaltenen Bonds. Es wurde bewusst darauf geachtet, dass sich die Portfolios - ausgenommen vom Rating der Bonds - ähnlich sind, damit die Resultate miteinander verglichen werden können. Zur Übersicht sind jeweils für jedes Portfolio noch die wichtigsten Kennzahlen aufgeführt.

Wichtig ist hier, dass die Bewertungsdaten für die Bonds mit den Zinsdaten übereinstimmen. Das heisst, die Bonds sind per 27.11.2009 bewertet, während die Zinskurven bis und mit zu diesem Datum reichen.

Bei der Messung werden für jedes Portfolio zehn Durchläufe über 2'000 Szenarien gemacht. Insgesamt sind es also 20'000 Szenarien.

Alle Resultate sind auch auf der beigelegten CD als .mat Dateien verfügbar. Zum Lesen dieser Dateien wird allerdings eine relativ aktuelle MATLAB Version vorausgesetzt (die Implementation wurde mit der Version 2009a gemacht).

5.1.1. Portfolio 1

Das erste Portfolio besteht aus Bonds mit den Ratings *AA* und *A*, also qualitativ relativ hochstehende Bonds. Die wichtigsten Kennzahlen sind in Tabelle 5.1 aufgeführt. Die Kennzahl *Durchschnittliche Restlaufzeit* wurde nach Anteil am Nominal gewichtet. Das gesamte Portfolio ist in Tabelle F.1 im Anhang ersichtlich.

Portfolio 1	
Instrumente	31
Ratings	AA und A
Total Nominal	3'350'000 EUR
Total Dirty Price	3'633'308 EUR
Durchschnittliche Restlaufzeit (gewichtet)	1817 Tage

Tabelle 5.1.: Kennzahlen vom Portfolio 1, Quelle: "Eigene Darstellung"

Die Kennzahlen *Durchschnittliche Restlaufzeit*, *Total Dirty Price* und *Total Nominal* sind darum aufgeführt, weil sie einen erheblichen Einfluss auf den errechneten VaR eines Portfolios haben. Generell gilt, je höher der Wert und je länger die Laufzeit eines Portfolios ist, umso grösser ist dessen Value at Risk.

Marktrisiko

Die Gewinn-/Verlustverteilung für die Messung des Marktrisikos ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

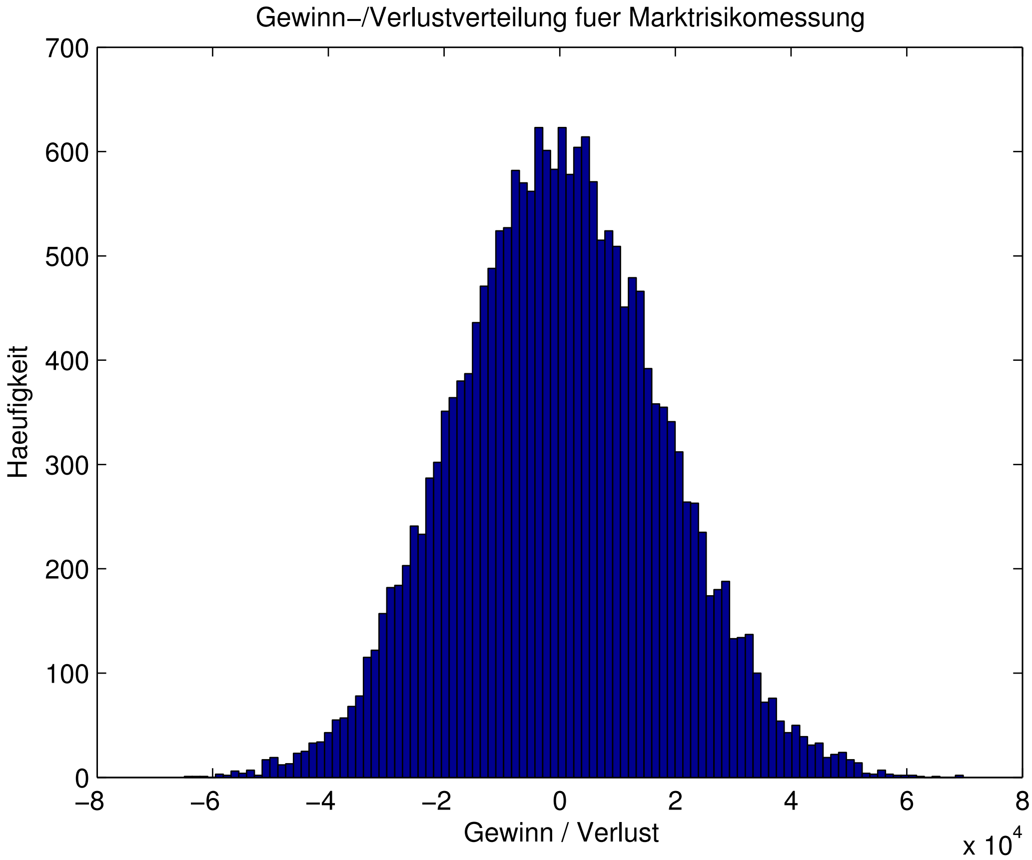

Abbildung 5.1.: Gewinn-/Verlustverteilung für Marktrisikomessung von Portfolio 1, Quelle: "Eigene Darstellung"

Folgende Werte wurden gemessen:

Kennzahl	Wert
Durchschnittlicher VaR bei $\Delta t_H = 10$ Tage	-40'836 EUR
Standardabweichung des VaR über 10 Simulationen	1881 EUR

Tabelle 5.2.: Marktrisiko vom Portfolio 1, Quelle: "Eigene Darstellung"

Kreditrisiko

Das Kreditrisiko wurde jeweils für Liquiditätsperioden von 1, 2, 3 und 6 Monaten gemessen.

Kennzahl	Liquiditätsperiode	Wert
Value at Risk	$\Delta t_H = 1M$	-29'609 EUR
	$\Delta t_H = 2M$	-41'738 EUR
	$\Delta t_H = 3M$	-64'773 EUR
	$\Delta t_H = 6M$	-83'274 EUR

Tabelle 5.3.: Kreditrisiko vom Portfolio 1, Quelle: "Eigene Darstellung"

5.1.2. Portfolio 2

Das zweite Portfolio enthält Bonds mit den Ratings *A* und *BBB*. Im Vergleich mit Portfolio 1 ist die Qualität des Portfolios also etwas schlechter. Die Kennzahlen für das Portfolio sind in Tabelle 5.4 aufgeführt. Das gesamte Portfolio ist in Tabelle F.2 im Anhang ersichtlich.

Portfolio 2	
Instrumente	34
Ratings	A und BBB
Total Nominal	3'350'000 EUR
Total Dirty Price	3'632'915 EUR
Durchschnittliche Restlaufzeit (gewichtet)	1822 Tage

Tabelle 5.4.: Kennzahlen vom Portfolio 2, Quelle: "Eigene Darstellung"

Marktrisiko

Folgende Werte wurden gemessen:

Kennzahl	Wert
Durchschnittlicher VaR bei $\Delta t_H = 10$ Tage	-41'086 EUR
Standardabweichung des VaR über 10 Simulationen	1528 EUR

Tabelle 5.5.: Marktrisiko vom Portfolio 2, Quelle: "Eigene Darstellung"

Kreditrisiko

Für das zweite Portfolio wurden folgende Kennzahlen errechnet:

Kennzahl	Liquiditätsperiode	Wert
Value at Risk	$\Delta t_H = 1M$	-40'247 EUR
	$\Delta t_H = 2M$	-40'205 EUR
	$\Delta t_H = 3M$	-53'201 EUR
	$\Delta t_H = 6M$	-86'718 EUR

Tabelle 5.6.: Kreditrisiko vom Portfolio 2, Quelle: "Eigene Darstellung"

5.1.3. Portfolio 3

Das dritte Portfolio enthält ausschliesslich Bonds mit dem Rating *BBB*. Es ist also das Portfolio mit den qualitativ schlechtesten Wertpapieren. Die Kennzahlen für das Portfolio sind in Tabelle 5.7 aufgeführt. Das gesamte Portfolio ist in Tabelle F.3 im Anhang ersichtlich.

Portfolio 3	
Instrumente	34
Ratings	BBB
Total Nominal	3'350'000 EUR
Total Dirty Price	3'641'320 EUR
Durchschnittliche Restlaufzeit (gewichtet)	1832 Tage

Tabelle 5.7.: Kennzahlen vom Portfolio 3, Quelle: "Eigene Darstellung"

Marktrisiko

Folgende Werte wurden gemessen:

Kennzahl	Wert
Durchschnittlicher VaR bei $\Delta t_H = 10$ Tage	-43'731 EUR
Standardabweichung des VaR über 10 Simulationen	1251 EUR

Tabelle 5.8.: Marktrisiko vom Portfolio 3, Quelle: "Eigene Darstellung"

Kreditrisiko

Für das dritte Portfolio wurden folgende Kennzahlen errechnet:

Kennzahl	Liqiditätsperiode	Wert
Value at Risk	$\Delta t_H = 1M$	-59'226 EUR
	$\Delta t_H = 2M$	-61'773 EUR
	$\Delta t_H = 3M$	-98'991 EUR
	$\Delta t_H = 6M$	-100'490 EUR

Tabelle 5.9.: Kreditrisiko vom Portfolio 3, Quelle: "Eigene Darstellung"

5.2. Vergleich und Folgerung

5.2.1. Marktrisiko

Während sich der VaR von Portfolio 1 und Portfolio 2 kaum unterscheiden, ist der Wert beim Portolio 3 schon deutlich tiefer. Dies ist vor allem auf den Umstand zurückzuführen, dass dieses Portfolio ausschliesslich aus Bonds mit Rating *BBB* besteht.

Portfolio	VaR bei $\Delta t_H = 10$
Portfolio 1	-40'836 EUR
Portfolio 2	-41'086 EUR
Portfolio 3	-43'731 EUR

Tabelle 5.10.: Vergleich vom VaR bezüglich Marktrisiko, Quelle: "Eigene Darstellung"

Es muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass die durchschnittliche Laufzeit der Bonds in Portfolio 3 (siehe Tabelle 5.7) ein paar Tage länger ist als bei den anderen Portfolios und auch der Gesamtwert des Portfolios etwas höher ist. Trotzdem lässt sich damit nicht die ganze Differenz erklären.

Insgesamt sind die Unterschiede zwischen den Portfolios aber relativ klein, was auch daran liegt, dass die Differenz einzig durch die simulierten Ratingspread-Returns zustande kommt. Die simulierten Interbank-Returns sind für alle Portfolios annähernd gleich.

5.2.2. Kreditrisiko

Die Werte für den VaR bezüglich Kreditrisiko sind sehr schwierig miteinander zu vergleichen. Die Portfolios sind sich zwar grundsätzlich ähnlich, allerdings hängt der VaR sehr stark davon ab, wie hoch der erhaltene Coupon-Betrag während der Liquiditätsperiode ist. In Tabelle 5.11 ist das gut zu sehen.

Liquiditätsperiode	Kennzahl	Portfolio 1	Portfolio 2	Portfolio 3
$\Delta t_H = 1M$	Betrag Coupons bis $t + \Delta t_H$	7'094 EUR	13'287 EUR	39'250 EUR
	VaR	-29'609 EUR	-40'247 EUR	-59'226 EUR
$\Delta t_H = 2M$	Betrag Coupons bis $t + \Delta t_H$	19'656 EUR	13'287 EUR	39'250 EUR
	VaR	-41'738 EUR	-40'205 EUR	-61'773 EUR
$\Delta t_H = 3M$	Betrag Coupons bis $t + \Delta t_H$	44'969 EUR	28'242 EUR	63'750 EUR
	VaR	-64'773 EUR	-53'201 EUR	-98'991 EUR
$\Delta t_H = 6M$	Betrag Coupons bis $t + \Delta t_H$	87'469 EUR	90'474 EUR	80'437 EUR
	VaR	-83'274 EUR	-86'718 EUR	-100'490 EUR

Tabelle 5.11.: Vergleich vom VaR bezüglich Kreditrisiko, Quelle: "Eigene Darstellung"

Je grösser der Betrag von den ausbezahlten Coupons ist, umso grösser ist demzufolge das Kreditrisiko. Denn die ausbezahlten Coupons werden nicht mehr zum Present Value zum Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ dazugerechnet, was dazu führt, dass der Present Value deutlich kleiner wird.

Werden hingegen in einer Liquiditätsperiode keine Coupons ausbezahlt, ist der Present Value zum Zeitpunkt $t + \Delta t_H$ eher grösser als zum Zeitpunkt t, da der Accrued Interest der Bonds auch gestiegen ist. Dieser Umstand ist zum Beispiel bei Portfolio 2 gut zu sehen. Im zweiten Monat werden keine Coupons ausbezahlt und darum sind der VaR bei $\Delta t_H = 1M$ und der VaR bei $\Delta t_H = 2M$ beinahe identisch (er wird hier sogar etwas kleiner), und dies trotz der grösseren Skalierung der Spread-Returns (auf 40 Tage anstatt auf 20 Tage).

Grundsätzlich scheint das noch einleuchtend: Wenn in einer Liquiditätsperiode keine Coupons erwartet werden, können diese auch nicht ausfallen. Diese Erklärung ist aber ungenügend, da ein Emittent jederzeit Konkurs gehen kann und dementsprechend - abgesehen von der Recovery Rate - alle zukünftigen Zahlungen dieses Emittenten ausfallen würden. Wie schon erwähnt, werden bei dieser Messung auch die möglichen Rating-Migrationen nicht berücksichtigt.

Es ist also durchaus sinnvoll, den VaR für unterschiedliche Liquiditätsperioden zu rechnen, da sich der Wert je nach Periode drastisch ändern kann. Das ist aber auch stark abhängig vom Portfolio. Bei einem Portfolio mit vielen regelmässigen Cash Flow Terminen wird sich der VaR relativ konstant verhalten. Hingegen wäre der Wert bei einem Portfolio, wo alle Bonds das selbe Coupon-Datum haben, stark von der Liquiditätsperiode Δt_H und dem aktuellen Zeitpunkt t abhängig.

5.2.3. Fazit

Bei der Messung und speziell bei der Zusammenstellung der Portfolios wurde mir klar, dass eine simple Zahl wie der VaR von sehr vielen Faktoren abhängt. Der Vorteil dabei ist, dass das gesamte Portfolio mit all diesen Faktoren sozusagen in eine Zahl zusammengefasst wird, was für eine Messung natürlich ideal ist.

Für die Steuerung der Risiken genügt die Kenntnis des VaR aber nicht. Hier muss das Portfolio mit all seinen Eigenschaften angeschaut werden. Dabei müssen die riskanten Positionen oder Kombinationen ausfindig gemacht werden, und anschliessend müssen die entsprechenden Massnahmen eingeleitet werden.

Der VaR ist also nur eines von vielen Instrumenten für das Risikomanagement. Vorausgesetzt, dass er richtig eingesetzt wird, ist er aber unerlässlich.

A. Literaturverzeichnis

A.1. Bücher

Martin Falke. *Stress-Testing im Kreditportfoliomanagement*. 1. Auflage. Duisburg & Köln, Deutschland: WiKu-Verlag Dr. Stein, 2007.

Jochen Felsenheimer und Philip Gisdakis. *Credit Crisis*. First Edition. Weinheim, Deutschland: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.

Andreas Henking, Christian Bluhm und Ludwig Fahrmeir. *Kreditrisikomessung*. 1. Auflage. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag, 2006.

Philippe Jorion. *Value at Risk*. 1st Edition. New York, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.

David G. Luenberger. *Investment Science*. First Edition. New York, USA: Oxford University Press, 1997.

Mario Strassberger. *Risikokapitalallokation und Marktpreisrisikosteuerung mit Value-at-Risk-Limiten*. 1. Auflage. Lohmar, Deutschland: Josef Eul Verlag, 2002.

A.2. Rundschreiben

Basler Ausschuss für Bankenaufsicht. "Internationale Konvergenz der Eigenkapitalmessung und Eigenkapitalanforderungen". In: *Committee Publications* (Juli 1988), S. 1–22.

– "Internationale Konvergenz der Eigenkapitalmessung und Eigenkapitalanforderungen - Überarbeitete Rahmenvereinbarung". In: *Committee Publications* (Juni 2004), S. 1–236.

– "Guidelines for computing capital for incremental risk in the trading book". In: *Committee Publications* (Juli 2009), S. 1–7.

– "Revisions to the Basel II market risk framework". In: *Committee Publications* (Juli 2009), S. 1–35.

B. Abbildungsverzeichnis

C. Tabellenverzeichnis

D. Abkürzungsverzeichnis

Adjustable Rate Mortgage (ARM)

Bank for International Settlements (BIS)

Credit Default Swap (CDS)

Eidgenössische Finanzmarktaufsicht (FINMA)

London Interbank Offered Rate (LIBOR)

Present Value (PV)

Value at Risk (VaR)

E. Marktdaten

In den folgenden Abschnitten ist jeweils der Daten-Name und der Bloomberg-Ticker der verwendeten Marktdaten angegeben. Der Stand der Daten entspricht dem 27.11.2009.

E.1. Interbankzinsen (IB)

Laufzeit	Daten-Name	Bloomberg-Ticker
3M	BBA LIBOR ECU 3 Month	EU0003M Index
6M	BBA LIBOR ECU 6 Month	EU0006M Index
1Y	EUR SWAP (vs 3M) 1 YR	EUSW1V3 Curncy
2Y	EUR SWAP (vs 3M) 2 YR	EUSW2V3 Curncy
3Y	EUR SWAP (vs 3M) 3 YR	EUSW3V3 Curncy
4Y	EUR SWAP (vs 3M) 4 YR	EUSW4V3 Curncy
5Y	EUR SWAP (vs 3M) 5 YR	EUSW5V3 Curncy
7Y	EUR SWAP (vs 3M) 7 YR	EUSW7V3 Curncy
8Y	EUR SWAP (vs 3M) 8 YR	EUSW8V3 Curncy
9Y	EUR SWAP (vs 3M) 9 YR	EUSW9V3 Curncy
10Y	EUR SWAP (vs 3M) 10 YR	EUSW10V3 Curncy
15Y	EUR SWAP (vs 3M) 15 YR	EUSW15V3 Curncy
20Y	EUR SWAP (vs 3M) 20 YR	EUSW20V3 Curncy

Tabelle E.1.: Marktdaten für die Interbankenzinsen, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

E.2. Government-Zinsen (GOV)

Laufzeit	Daten-Name	Bloomberg-Ticker
3M	BFV EUR Germany Sovereign 3 Mo	C9103M Index
6M	BFV EUR Germany Sovereign 6 Mo	C9106M Index
1Y	BFV EUR Germany Sovereign 1 Ye	C9101Y Index
2Y	BFV EUR Germany Sovereign 2 Ye	C9102Y Index
3Y	BFV EUR Germany Sovereign 3 Ye	C9103Y Index
4Y	BFV EUR Germany Sovereign 4 Ye	C9104Y Index
5Y	BFV EUR Germany Sovereign 5 Ye	C9105Y Index
7Y	BFV EUR Germany Sovereign 7 Ye	C9107Y Index
8Y	BFV EUR Germany Sovereign 8 Ye	C9108Y Index
9Y	BFV EUR Germany Sovereign 9 Ye	C9109Y Index
10Y	BFV EUR Germany Sovereign 10 Ye	C91010Y Index
15Y	BFV EUR Germany Sovereign 15 Ye	C91015Y Index
20Y	BFV EUR Germany Sovereign 20 Ye	C91020Y Index

Tabelle E.2.: Marktdaten für die Government-Zinsen, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

E.3. Corporate-Zinsen

E.3.1. Rating AAA

Laufzeit	Daten-Name	Bloomberg-Ticker
3M	BFV EUR Composite (AAA) 3 Month	C6643M Index
6M	BFV EUR Composite (AAA) 6 Month	C6646M Index
1Y	BFV EUR Composite (AAA) 1 Year	C6641Y Index
2Y	BFV EUR Composite (AAA) 2 Year	C6642Y Index
3Y	BFV EUR Composite (AAA) 3 Year	C6643Y Index
4Y	BFV EUR Composite (AAA) 4 Year	C6644Y Index
5Y	BFV EUR Composite (AAA) 5 Year	C6645Y Index
7Y	BFV EUR Composite (AAA) 7 Year	C6647Y Index
8Y	BFV EUR Composite (AAA) 8 Year	C6648Y Index
9Y	BFV EUR Composite (AAA) 9 Year	C6649Y Index
10Y	BFV EUR Composite (AAA) 10 Year	C66410Y Index
15Y	BFV EUR Composite (AAA) 15 Year	C66415Y Index
20Y	BFV EUR Composite (AAA) 20 Year	C66420Y Index

Tabelle E.3.: Marktdaten für die AAA-Zinsen, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

E.3.2. Rating AA

Laufzeit	Daten-Name	Bloomberg-Ticker
3M	BFV EUR Composite (AA) 3 Month	C6673M Index
6M	BFV EUR Composite (AA) 6 Month	C6676M Index
1Y	BFV EUR Composite (AA) 1 Year	C6671Y Index
2Y	BFV EUR Composite (AA) 2 Year	C6672Y Index
3Y	BFV EUR Composite (AA) 3 Year	C6673Y Index
4Y	BFV EUR Composite (AA) 4 Year	C6674Y Index
5Y	BFV EUR Composite (AA) 5 Year	C6675Y Index
7Y	BFV EUR Composite (AA) 7 Year	C6677Y Index
8Y	BFV EUR Composite (AA) 8 Year	C6678Y Index
9Y	BFV EUR Composite (AA) 9 Year	C6679Y Index
10Y	BFV EUR Composite (AA) 10 Year	C66710Y Index
15Y	BFV EUR Composite (AA) 15 Year	C66715Y Index
20Y	BFV EUR Composite (AA) 20 Year	C66720Y Index

Tabelle E.4.: Marktdaten für die AA-Zinsen, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

E.3.3. Rating A

Laufzeit	Daten-Name	Bloomberg-Ticker
3M	BFV EUR Composite (A) 3 Month	C6703M Index
6M	BFV EUR Composite (A) 6 Month	C6706M Index
1Y	BFV EUR Composite (A) 1 Year	C6701Y Index
2Y	BFV EUR Composite (A) 2 Year	C6702Y Index
3Y	BFV EUR Composite (A) 3 Year	C6703Y Index
4Y	BFV EUR Composite (A) 4 Year	C6704Y Index
5Y	BFV EUR Composite (A) 5 Year	C6705Y Index
7Y	BFV EUR Composite (A) 7 Year	C6707Y Index
8Y	BFV EUR Composite (A) 8 Year	C6708Y Index
9Y	BFV EUR Composite (A) 9 Year	C6709Y Index
10Y	BFV EUR Composite (A) 10 Year	C67010Y Index
15Y	BFV EUR Composite (A) 15 Year	C67015Y Index
20Y	BFV EUR Composite (A) 20 Year	C67020Y Index

Tabelle E.5.: Marktdaten für die A-Zinsen, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

E.3.4. Rating BBB

Laufzeit	Daten-Name	Bloomberg-Ticker
3M	BFV EUR Composite (BBB) 3 Month	C6733M Index
6M	BFV EUR Composite (BBB) 6 Month	C6736M Index
1Y	BFV EUR Composite (BBB) 1 Year	C6731Y Index
2Y	BFV EUR Composite (BBB) 2 Year	C6732Y Index
3Y	BFV EUR Composite (BBB) 3 Year	C6733Y Index
4Y	BFV EUR Composite (BBB) 4 Year	C6734Y Index
5Y	BFV EUR Composite (BBB) 5 Year	C6735Y Index
7Y	BFV EUR Composite (BBB) 7 Year	C6737Y Index
8Y	BFV EUR Composite (BBB) 8 Year	C6738Y Index
9Y	BFV EUR Composite (BBB) 9 Year	C6739Y Index
10Y	BFV EUR Composite (BBB) 10 Year	C67310Y Index
15Y	BFV EUR Composite (BBB) 15 Year	C67315Y Index
20Y	BFV EUR Composite (BBB) 20 Year	C67320Y Index

Tabelle E.6.: Marktdaten für die BBB-Zinsen, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

F. Portfolios

In den folgenden Abschnitten sind die drei Portfolios aufgelistet, die für die Messung (siehe Kapitel 5) zusammengestellt wurden.

F.1. Portfolio 1

Dieses Portfolio besteht aus Bonds mit Rating AA oder A.

Instrument	Anzahl	Nominal	Dirty Price	Interest	Issue Date	Maturity	Rating
ALVGR 5 5/8 11/12	100	1000	109.55	5.63	11/29/2002	11/29/2012	AA
BBVASM 4 04/22/13	4	50000	107.14	4	4/21/2006	4/22/2013	AA
BNP 4 1/4 01/16/14	150	1000	108.90	4.25	1/16/2009	1/16/2014	AA
DBB 5 07/24/19	2	50000	110.84	5	7/24/2007	7/24/2019	AA
ISPIM 4 3/4 06/17	2	50000	108.44	4.75	6/15/2007	6/15/2017	AA
TOTAL 4 1/8 01/13	150	1000	109.30	4.13	1/16/2007	1/16/2013	AA
IBESM 4 7/8 02/13	1	100000	110.73	4.88	2/18/2003	2/18/2013	A
JAPTOB 4 1/2 04/14	100	1000	109.56	4.5	10/2/2006	4/2/2014	A
DSM 4 11/10/15	50	1000	102.94	4	11/10/2005	11/10/2015	A
AIFP4 3/8 06/03/15	2	50000	107.81	4.38	6/3/2009	6/3/2015	A
MOET3 3/8 06/22/12	150	1000	104.16	3.38	6/22/2005	6/22/2012	A
RWE 6 1/8 10/26/12	50	1000	111.50	6.13	4/26/2002	10/26/2012	A
SIEGR 5 5/8 06/18	25	1000	116.22	5.63	6/11/2008	6/11/2018	A
SOCGEN 5 1/4 03/13	2	50000	112.18	5.25	3/28/2008	3/28/2013	A
SOLBBB 4 5/8 06/18	100	1000	107.22	4.63	6/27/2003	6/27/2018	A
TELEFO 4 3/8 02/16	150	1000	108.20	4.38	2/2/2006	2/2/2016	A
TELNO 5 7/8 12/12	25	1000	115.09	5.88	12/5/2002	12/5/2012	A
TLIASS 4 1/8 05/15	100	1000	105.76	4.13	5/9/2005	5/11/2015	A
UBS 6 04/18/18	50	1000	113.83	6	4/18/2008	4/18/2018	A
UCGIM 4 3/8 02/14	2	50000	107.79	4.38	2/10/2004	2/10/2014	A
UNANA 3 3/8 09/15	200	1000	103.34	3.38	9/29/2005	9/29/2015	A
VOD 5 06/04/18	100	1000	109.76	5	6/4/2003	6/4/2018	A
VW 5 3/8 05/22/18	100	1000	112.61	5.38	5/22/2003	5/22/2018	A
ZURNVX 4 1/2 09/14	4	50000	105.51	4.5	9/17/2004	9/17/2014	A
BMW 4 5/8 02/20/13	150	1000	108.62	4.63	2/20/2003	2/20/2013	A
AXASA 6 06/18/13	100	1000	113.61	6	6/18/2001	6/18/2013	A
VW 5 3/8 05/22/18	50	1000	112.61	5.38	5/22/2003	5/22/2018	A
GSZFP 5 1/8 02/18	50	1000	114.14	5.13	2/19/2003	2/19/2018	A
AUCHAN 5 04/29/13	2	50000	110.44	5	4/29/2008	4/29/2013	A
HENKEL 4 1/4 06/13	200	1000	107.28	4.25	6/10/2003	6/10/2013	A
ENEL4 1/4 06/12/13	100	1000	106.36	4.25	6/12/2003	6/12/2013	A

Tabelle F.1.: Portfolio 1, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

F.2. Portfolio 2

Dieses Portfolio besteht aus Bonds mit Rating A oder BBB.

Instrument	Anzahl	Nominal	Dirty Price	Interest	Issue Date	Maturity	Rating
ASSGEN 3 7/8 05/15	150	1000	105.89	3.38	5/6/2005	5/6/2015	A
MONTE 4 3/8 07/13	100	1000	106.93	4.38	7/30/2003	7/30/2013	A
BASGR 3 3/8 05/12	50	1000	104.86	3.38	5/27/2005	5/30/2012	A
BAYNGR 6 04/10/12	100	1000	112.69	6	4/10/2002	4/10/2012	A
BMW 4 5/8 02/20/13	50	1000	108.62	4.63	2/20/2003	2/20/2013	A
BOUY4 3/4 05/24/16	4	50000	108.28	4.75	5/24/2006	5/24/2016	A
CAFP4 3/8 11/02/16	3	50000	104.91	4.38	11/2/2006	11/2/2016	A
BNFP5 1/2 05/06/15	3	50000	114.79	5.5	5/6/2008	5/6/2015	A
EOANGR 6 3/8 05/17	175	1000	120.96	6.38	5/29/2002	5/29/2017	A
ELEPOR 5 7/8 03/11	125	1000	105.81	5.88	3/28/2001	3/28/2011	A
ENBW4 1/4 10/19/16	100	1000	103.78	4.25	10/19/2006	10/19/2016	A
TELNO 5 7/8 12/12	50	1000	115.09	5.88	12/5/2002	12/5/2012	A
FRTUM 5 11/19/13	50	1000	108.36	5	11/19/2003	11/19/2013	A
FRTEL 7 1/4 01/13	100	1000	119.95	7.25	1/28/2003	1/28/2013	A
AEGON 4 1/8 12/14	150	1000	106.69	4.13	12/8/2004	12/8/2014	A
BERTEL 4 3/4 09/16	100	1000	102.24	4.75	9/26/2006	9/26/2016	A
COFP4 7/8 04/10/14	2	50000	108.01	4.88	4/10/2007	4/10/2014	BBB
SGOFP 5 04/25/14	100000	1	104.83	5	6/22/2004	4/25/2014	BBB
GLEINT 5 1/4 10/13	2	50000	102.26	5.25	10/11/2006	10/11/2013	BBB
HOLZSW 4 3/8 12/14	100	1000	107.63	4.38	12/9/2004	12/9/2014	BBB
METFNL 4 3/4 05/12	1	50000	107.64	4.75	5/29/2007	5/29/2012	BBB
PRTP 4 01/29/13	50	1000	105.02	4	6/29/2005	1/29/2013	BBB
REPSM 5 07/22/13	10	10000	107.72	5	7/22/2003	7/22/2013	BBB
SUEDZU 5 3/4 02/12	50	1000	111.19	5.75	2/27/2002	2/27/2012	BBB
TITIM 5 3/8 01/19	1	100000	110.51	5.38	1/29/2004	1/29/2019	BBB
VIVFP 4 1/2 10/13	1	50000	105.07	4.5	10/3/2006	10/3/2013	BBB
CLAR4 3/8 04/05/13	50	1000	102.94	4.38	4/6/2006	4/5/2013	BBB
LUFTHA 4 5/8 05/13	50	1000	106.48	4.63	5/4/2006	5/6/2013	BBB
LGFP5.448 12/04/13	100000	1	111.79	5.45	12/4/2003	12/4/2013	BBB
ALOFP 4 09/23/14	2	50000	103.60	4	9/23/2009	9/23/2014	BBB
AALLN 5 7/8 04/15	125	1000	113.22	5.88	4/17/2008	4/17/2015	BBB
VLVY 5 05/31/17	125	1000	100.73	5	5/31/2007	5/31/2017	BBB
SUEDZU 5 3/4 02/12	100	1000	111.19	5.75	2/27/2002	2/27/2012	BBB
EADFP 5 1/2 09/18	100	1000	109.15	5.5	9/25/2003	9/25/2018	BBB

Tabelle F.2.: Portfolio 2, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

F.3. Portfolio 3

Dieses Portfolio besteht ausschliesslich aus Bonds mit Rating BBB.

Instrument	Anzahl	Nominal	Dirty Price	Interest	Issue Date	Maturity	Rating
ACCOR 7 1/2 02/14	2	50000	118.10	7.5	2/4/2009	2/4/2014	BBB
VLVY 5 05/31/17	150	1000	100.73	5	5/31/2007	5/31/2017	BBB
AKZANA 7 3/4 01/14	3	50000	123.48	7.75	12/12/2008	1/31/2014	BBB
ALOFP 4 09/23/14	2	50000	103.60	4	9/23/2009	9/23/2014	BBB
AALLN 5 7/8 04/15	50	1000	113.22	5.88	4/17/2008	4/17/2015	BBB
BERTEL 4 3/4 09/16	100	1000	102.24	4.75	9/26/2006	9/26/2016	BBB
BATSLN 5 1/8 07/13	50	1000	109.61	5.13	7/9/2003	7/9/2013	BBB
COFP4 7/8 04/10/14	2	50000	108.01	4.88	4/10/2007	4/10/2014	BBB
SGOFP 5 04/25/14	50000	1	104.83	5	6/22/2004	4/25/2014	BBB
DPW 5 1/8 10/04/12	500	100	107.65	5.13	10/4/2002	10/4/2012	BBB
DT 8 1/8 05/29/12	100	1000	117.06	8.13	5/29/2002	5/29/2012	BBB
EDNIM 5 1/8 12/10	200	1000	106.01	5.13	12/12/2003	12/10/2010	BBB
VIEFP 5 3/8 05/18	100	1000	111.98	5.38	5/28/2003	5/28/2018	BBB
FNCIM 5 3/4 12/18	150	1000	115.32	5.75	12/12/2003	12/12/2018	BBB
GLEINT 5 1/4 10/13	2	50000	102.26	5.25	10/11/2006	10/11/2013	BBB
OTE 5 08/05/13	100	1000	107.15	5	8/5/2003	8/5/2013	BBB
HOLZSW 4 3/8 12/14	200	1000	107.63	4.38	12/9/2004	12/9/2014	BBB
METFNL 4 3/4 05/12	1	50000	107.64	4.75	5/29/2007	5/29/2012	BBB
NGGLN 5 07/02/18	150	1000	107.42	5	7/2/2003	7/2/2018	BBB
PORTEL 4 3/8 03/17	100	1000	103.93	4.38	3/24/2005	3/24/2017	BBB
PRTP 4 01/29/13	50	1000	105.02	4	6/29/2005	1/29/2013	BBB
PUBFP 4 1/8 01/12	100	1000	106.35	4.13	1/28/2005	1/31/2012	BBB
REPSM 5 07/22/13	10	10000	107.72	5	7/22/2003	7/22/2013	BBB
EXHO4 1/2 03/28/14	100	1000	108.37	4.5	3/30/2007	3/28/2014	BBB
SWEMAT 4 5/8 06/13	100	1000	106.27	4.63	6/28/2006	6/28/2013	BBB
TECFP 4 5/8 05/11	100	1000	104.31	4.63	5/26/2004	5/26/2011	BBB
TITIM 5 3/8 01/19	1	100000	110.51	5.38	1/29/2004	1/29/2019	BBB
TKA 5 07/22/13	50	1000	107.17	5	7/22/2003	7/22/2013	BBB
TNTNA 3 7/8 06/15	100	1000	101.61	3.88	6/1/2005	6/1/2015	BBB
VIEFP 5 3/8 05/18	150	1000	111.98	5.38	5/28/2003	5/28/2018	BBB
VIVFP 4 1/2 10/13	2	50000	105.07	4.5	10/3/2006	10/3/2013	BBB
WKLNA 5 1/8 01/14	50	1000	110.87	5.13	11/25/2003	1/27/2014	BBB
ACCOR 7 1/2 02/14	2	50000	118.10	7.5	2/4/2009	2/4/2014	BBB

Tabelle F.3.: Portfolio 3, Quelle: "Eigene Darstellung / Daten von Bloomberg, Stand 27.11.2009"

G. Inhalt der CD

Auf der beigelegten CD finden Sie folgende Daten:

- Die Bachelor-Thesis als PDF
- Die Bachelor-Thesis in Rohform als LaTeX Dateien
- Die Zinskurven als Excel Tabelle
- Die Portfolios als Excel Tabelle
- Der Quellcode der Implementation
- Die Resultate der Simulation als .mat Dateien