



DAV

DEUTSCHE
AKTUARVEREINIGUNG e.V.

Fachgrundsatz der Deutschen Aktuarvereinigung e.V.

Anforderungen an einen ökonomischen Szenariogenerator

Hinweis

zum Einsatz von Kapitalmarktmodellen
in Versicherungsunternehmen

Köln, den 01.08.2017

Präambel

Die Deutsche Aktuarvereinigung (DAV) e. V. hat entsprechend dem Verfahren zur Feststellung von Fachgrundsätzen vom 25. April 2013 den vorliegenden *Fachgrundsatz* festgestellt.¹ Fachgrundsätze zeichnen sich dadurch aus, dass sie

- aktuarielle Fachfragen behandeln,
- von grundsätzlicher und praxisrelevanter Bedeutung für Aktuare sind,
- berufsständisch durch ein Feststellungsverfahren legitimiert sind, das allen Aktuaren eine Beteiligung an der Feststellung ermöglicht, und
- ihre ordnungsgemäße Verwendung seitens der Mitglieder durch ein Disziplinarverfahren berufsständisch abgesichert ist.

Dieser Fachgrundsatz ist ein *Hinweis*. Hinweise sind Fachgrundsätze,

- die bei aktuariellen Erwägungen zu berücksichtigen sind, über deren Verwendung aber im Einzelfall im Rahmen der Standesregeln frei entschieden werden kann und
- die nur aus Grundlagenwissen
- zu konkreten Einzelfragen bestehen.

Anwendungsbereich

Der vorliegende *Hinweis* enthält unverbindliche Empfehlungen zum Einsatz von Kapitalmarktmodellen in Versicherungsunternehmen. Der sachliche Anwendungsbereich dieser Ausarbeitung betrifft die Aktuare aller Versicherungssparten.²

Um die Auswirkungen möglicher Kapitalmarktentwicklungen auf die Bestimmung der Solvenzkapitalanforderung aufzuzeigen, gewinnen ESGs zunehmend an Bedeutung, insbesondere als Bestandteil Interner Modelle bei Versicherungsunternehmen. Der vorliegende Hinweis formuliert zunächst allgemeine Prinzipien, die inhaltliche und prozessuale Aspekte beim Einsatz eines ESG reflektieren. In einem sich anschließenden Erläuterungsteil werden die Teilaspekte Modellierung, Validierung, Kalibrierung und Implementierung näher beschrieben.

Verabschiedung und Gültigkeit

Dieser Hinweis ist mit der Verabschiedung durch den Vorstand der DAV am 01.08.2017 in Kraft getreten und ersetzt den gleichnamigen, redaktionell überarbeiteten Hinweis vom 02.07.2012.

Zur fachlichen Anpassung des Hinweises an die Anforderungen von Solvency II findet derzeit eine weitere Überarbeitung statt, nach deren Abschluss dieser Hinweis durch eine grundlegend aktualisierte Fassung ersetzt werden soll.

¹ Der Vorstand dankt der Unterarbeitsgruppe UAG 1.1 (Kapitalmarktmodellierung) des Ausschusses Investment ausdrücklich für die geleistete Arbeit, namentlich Lutz Oehlenberg (Leitung), Dr. Holger Dietz, Dr. Manfred Gravekarstens, Andreas Hogh, Dr. Wilfried Homann, Roland Kunick, Dr. Michael Leitschkis, Dr. Andreas Märkert, Dr. Mohammad Majidi, Jan Philipp Meyer, Dr. Aristid Neuburger, Holger Schalk, Dr. Christian Schmitt, Martin Schneider, Carola Schroeder, Prof. Dr. Gerhard Stahl.

² Dieser Fachgrundsatz ist an die Mitglieder der DAV gerichtet; seine sachgemäße Anwendung erfordert aktuarielle Fachkenntnisse. Dieser Fachgrundsatz stellt deshalb keinen Ersatz für entsprechende professionelle aktuarielle Dienstleistungen dar. Aktuarielle Entscheidungen mit Auswirkungen auf persönliche Vorsorge und Absicherung, Kapitalanlage oder geschäftliche Aktivitäten sollten ausschließlich auf Basis der Beurteilung eine(n) qualifizierte(n) Aktuar DAV/Aktuarin DAV getroffen werden.

Vorwort

Schon im ersten Buch Mose³ wird ein erster ökonomischer Szenariogenerator (englisch: Economic Scenario Generator, ESG) erwähnt. In der Geschichte von Joseph und seinen Brüdern deutet Joseph den Traum des Pharaos und sagt sieben reiche Jahre und danach sieben Jahre des Hungers voraus. Daraufhin betrieb Ägypten Vorratshaltung, so dass sowohl das Land als auch Josephs Verwandte die Hungersnot überstehen konnten. Der Szenariogenerator gab also eine Hilfe zur Analyse der Situation, aus der eine Handlungsempfehlung abgeleitet werden konnte. Selbstverständlich war dieser antike Szenariogenerator rein deterministisch. In der heutigen Zeit werden stochastische, ökonomische Szenariogeneratoren eingesetzt, die oftmals eine gewaltige Komplexität aufweisen und deren Güte entsprechend schwierig zu beurteilen ist.

Der erfolgreiche Einsatz eines ESG im Versicherungsunternehmen hängt vom Zusammenspiel zwischen den Anforderungen, die sich aus der konkreten Anwendung ergeben, und der mit statistischen Methoden messbaren Qualität des ESG ab. Aus neuen Anwendungen mit steigenden Anforderungen ergibt sich die Notwendigkeit, den ESG stetig weiter zu entwickeln.

³ 1. Buch Mose, Kapitel 37-50. Der ESG wird in Kapitel 4.1 eingeführt.

Inhaltsverzeichnis

Formaler Hinweis (Teil I)

0.	Präambel	2
1.	Ziel und Umfang des Hinweises	7
2.	Allgemeine Prinzipien bei der Anwendung eines ökonomischen Szenariogenerators	9

Erläuterungsteil (Teil II)

3.	Modellierung von Assetklassen und Risikofaktoren	15
3.1	Einleitung	15
3.2	Modellierung	18
3.2.1	Periodenlänge der Modellierung	18
3.2.2	Zeithorizont der Modellierung	18
3.2.3	Anzahl der zu simulierenden Szenarien	19
3.2.4	Identifikation der relevanten Assetklassen	21
3.2.5	Modellierung der wesentlichen Assetklassen / Risikofaktoren ..	23
3.2.5.1	Modellierung von Abhängigkeiten	23
3.2.5.2	Aktien	24
3.2.5.3	Zinsen	26
3.2.5.4	Credit	27
3.2.5.5	Immobilien	28
3.2.5.6	Commodities.....	30
3.2.5.7	Fremdwährungen	30
3.2.5.7.1	<i>Rein empirische Ansätze</i>	<i>30</i>
3.2.5.7.2	<i>Theoretisch begründete Ansätze</i>	<i>30</i>
3.2.5.8	Inflation	31
3.2.6	Weitere Assetklassen / Risikofaktoren	32
3.2.6.1	Volatilitätsanpassung	32
3.2.6.2	Makroökonomische Variablen	32
3.2.6.3	Alternatives	33
3.2.6.4	Private Equity	33
3.2.6.5	Hedge Fonds.....	33
3.2.6.6	Weitere alternative Assetklassen	34

4.	Anforderungen an die Kalibrierung und Validierung der ökonomischen Szenarien	34
4.1	Anforderungen an die Kalibrierung	34
4.2.1	Kontext	39
4.2.2	Der Validierungsprozess.....	40
4.2.3	Test	43
4.2.3.1	Standard-Tests	43
4.2.3.1.1	<i>Martingaltest</i>	<i>44</i>
4.2.3.1.2	<i>Konsistenz der Szenarien zur initialen Zinskurve...</i>	<i>45</i>
4.2.3.1.3	<i>Konsistenz des Szenariensatzes zu Marktpreisen für Derivate („implizite Volatilitäten“)</i>	<i>45</i>
4.2.3.1.4	<i>Konsistenz der Korrelation zwischen den Assetklassen im Szenariensatz mit den Annahmen</i>	<i>46</i>
4.2.3.2	Weitere Tests	46
5.	Anwendungsbezogene Anforderungen an ökonomische Szenariogeneratoren	47
5.1	Ausgewählte Anwendungen.....	48
5.2	Wechselwirkungen zwischen ESG und Managementregeln	53
5.3	Fehlerquellen und operationale Risiken	57
5.3.1	Fehlerquellen.....	57
5.3.2	Operationale Risiken.....	60
A.	Anhang	62
A.1	Glossar.....	62
A.2	Exkurs zur Richtlinie Solvabilität II und Dokumentationsstandards	66
A.3	Beispiele zur Modellierung.....	69
A.3.1	Periodenlänge.....	69
A.3.2	Modellierung eines Musterunternehmens.....	71

F o r m a l e r H i n w e i s (T e i l I)

1. Ziel und Umfang des Hinweises

Es geht in diesem Fachgrundsatz darum, die in Deutschland tätigen Aktuare darauf hinzuweisen, was sie bei der Anwendung von ESGs beachten sollten. Durch die Formulierung von allgemeinen Prinzipien, die in den Kapiteln Modellierung, Kalibrierung und Validierung sowie Implementierung näher ausgeführt werden, soll dieses Ziel erreicht werden. Der vorliegende Hinweis geht u. a. darauf ein, wie die Kernkomponenten Modellierung, Kalibrierung, Validierung und Implementierung zusammenhängen. So können Validierungsergebnisse zu Anpassungen der Modellierung und Kalibrierung führen. Die Implementierung des ESG ist ein wichtiger Schritt zum Nachweis der Anwendung des dem Internen Modell zugrunde liegenden Kapitalmarktmodells (Use Test).

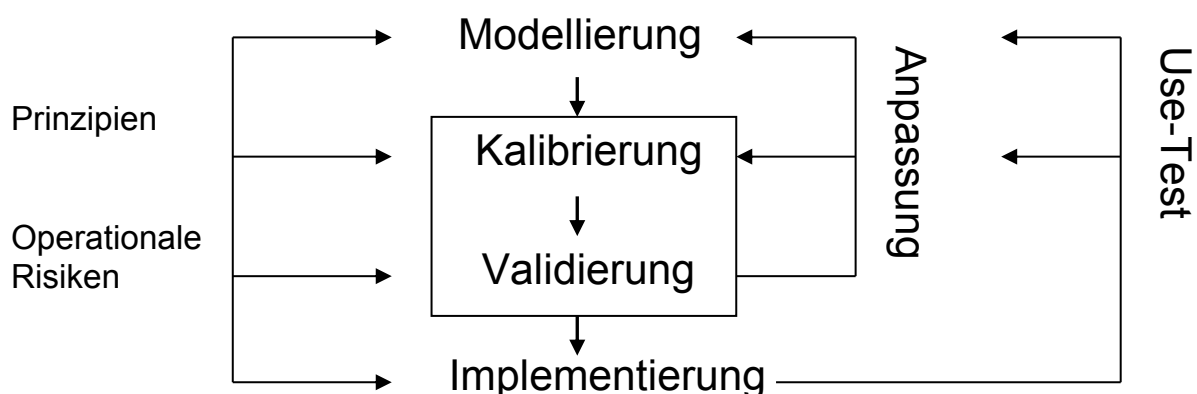


Abb.1: Zusammenhang der Kernkomponenten

Die von den ESGs eingesetzten Kapitalmarktmodelle selbst sind nicht Gegenstand dieses Hinweises. Sie werden in der einschlägigen Literatur umfassend beschrieben, auf die an geeigneter Stelle verwiesen wird.

Da die ESGs teilweise von Drittanbietern bezogen werden, bleiben den Anwendern die entsprechenden Quellcodes verborgen, d. h. die ESGs stellen bis zu einem gewissen Grad für die Anwender eine „black box“ dar. Deshalb ist es für die Nutzer der ESGs essentiell, Hinweise zu erhalten, mit denen sie die Qualität der ESGs anhand von Prinzipien und auf Basis der Szenarien selbst einschätzen können.

Der Ausschuss Investment der DAV setzte zur Formulierung der Anforderungen an einen ESG die Unterarbeitsgruppe „Kapitalmarktmodellierung“ (UAG 1.1) ein. Der Ausarbeitung des Hinweises zum Einsatz von Kapitalmarktmodellen in Versicherungsunternehmen lagen verschiedene Fragestellungen bzw. Mandate zugrunde, die zunächst in die Bereiche Modellierung, Validierung und Implementierung aufgeteilt wurden. Für jeden dieser Bereiche wurde eine Task Force gebildet, deren Mitglieder sich aus dem Kreis der Unterarbeitsgruppe rekrutierten. Aufgabe dieser Task Forces war es, die maßgeblichen Kapitel der genannten Bereiche für den Hinweis zu entwerfen. In der Zwischenzeit setzte der Ausschuss eine weitere temporäre Task Force aus Anlass der Finanzmarktkrise zur Untersuchung der Kalibrierung in inaktiven Marktsegmenten ein. Die in dem Fachgrundsatz dieser Task Force enthaltenen Prinzipien zur Kalibrierung von Kapitalmarktmodellen wurden in diesen Hinweis integriert.

Schließlich sind die einzelnen Teile der Task Forces sowie das Kapitel mit den allgemeinen Prinzipien zu einem prinzipienorientierten Gesamtdokument, das aus zwei Teilen, nämlich dem formalen Hinweis und dem Erläuterungsteil besteht, zusammengefasst worden. Zweck dieses Dokuments ist es, als Fachgrundsatz der DAV diejenigen Aktuare, die Kapitalmarktmodelle in Versicherungsunternehmen einsetzen, auf die Anforderungen an einen ESG hinzuweisen.

2. Allgemeine Prinzipien bei der Anwendung eines ökonomischen Szenariogenerators

In diesem Abschnitt werden inhaltliche und prozessuale Aspekte diskutiert, die als besonders wichtig beim Einsatz eines ESG betrachtet werden und daher als Prinzipien dargestellt sind. Diese Prinzipien beinhalten zunächst eher allgemeingültige Aussagen, die in den nachfolgenden Abschnitten des Hinweises konkretisiert und mit Beispielen erläutert werden.

Prinzip 1 (Konsistenz im Anwendungskontext): Die Ausgestaltung des Kapitalmarktmodells folgt den Anforderungen der Anwendung. Ähnliche Anwendungen werden mit ähnlichen Modellen realisiert.

Kapitalmarktmodelle werden für unterschiedliche Zielstellungen wie einer Berechnung des benötigten Solvenzkapitals, der Bestandsbewertung eines Lebensversicherungsunternehmens gemäß den MCEV-Prinzipien des CFO-Forums, der strategischen Unternehmens- und Bilanzplanung sowie der Bestimmung einer *optimalen* Assetallokation benötigt. Jede dieser Anwendungen verlangt eine spezielle Ausgestaltung des Kapitalmarktmodells hinsichtlich Modellwahl, Risikofaktoren, Assetklassen und Managementregeln sowie ihrer Kalibrierung. Für die Solvenzkapitalberechnung ist es beispielweise besonders wichtig, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der einzelnen Risikofaktoren an ihren Rändern plausibel sind, für die Bewertung eingebetteter Optionen und Garantien im Rahmen von MCEV-Berechnung und das Hedging von Garantien in Variable Annuities Produkten ist es sehr wichtig, dass vorgegebene Marktpreise für relevante Optionen vom Modell mit ausreichender Genauigkeit reproduziert werden. Für die Optimierung der Assetallokation ist ein ökonomisch plausibles Risiko-Rendite-Verhältnis der Assetklassen untereinander von besonderer Bedeutung.

Das Prinzip umfasst neben den Eigenschaften des stochastischen Modells auch Aspekte wie den Zeithorizont, die Schrittweite, die Anzahl der ökonomischen Szenarien und die Auswahl der zu berücksichtigenden Risikofaktoren.

Prinzip 2 (Ausrichtung am Unternehmensprofil): Die Ausgestaltung des Kapitalmarktmodells folgt den Anforderungen des unternehmensindividuellen Portfolios.

Insbesondere die Anzahl der Szenarien und die Auswahl der Risikofaktoren können nicht unabhängig vom Portfolio des Unternehmens, d.h. von den gehaltenen Kapitalanlagen und Versicherungsprodukten im Bestand, betrachtet werden. Auch im Hinblick auf die Anzahl der Szenarien für die Berechnung des benötigten Solvenzkapitals kann dieses Unternehmen nur dann einen reduzierten Ansatz verfolgen, wenn in den Versicherungsprodukten keine Optionen und Garantien enthalten sind.

Prinzip 3 (Modellverständnis): Das Unternehmen stellt sicher, dass es die wesentlichen Prinzipien, die dem ESG hinsichtlich Modell und Kalibrierung zu Grunde liegen, in ausreichendem Maße verstanden hat. Dies setzt eine vollständige und aktuelle technische Dokumentation voraus.

Schon bei der Auswahl des Kapitalmarktmodells und dessen Parametern inklusive der Kalibrierungsmethoden verschafft sich das Unternehmen ein Verständnis der ökonomischen Zusammenhänge und der Wahlmöglichkeiten bei der Kapitalmarktmodellierung. Aber auch für den Betrieb des ESG benötigt das Unternehmen eine geeignete (interne oder externe) fachliche Personal- und Softwareausstattung. Dies gilt gleichermaßen für ein unternehmensinternes Kapitalmarktmodell wie für ein Modell eines externen Anbieters.

Voraussetzung dafür, ein ausreichendes Modellverständnis zu erlangen, ist eine umfassende Dokumentation des Modells, der Kalibrierungsmethoden und –prozesse. Diese stellt zudem sicher, dass Personalfluktuationen die Einsatzmöglichkeiten des ESG nicht wesentlich einschränken.

Prinzip 4 (Transparenz): Das Unternehmen schafft Transparenz über die bei der Modellierung und Kalibrierung getroffenen Annahmen, damit Entscheidungsträger in der Lage sind, die Modellergebnisse richtig zu interpretieren.

Die unternehmensintern mit dem Betrieb des ESG betrauten Mitarbeiter sind in der Lage, die Ausprägung aller modellierten Risikofaktoren, deren Wechselwirkungen und die mit dem Modell erzielten Ergebnisse, einem sachverständigen Dritten sowie den Entscheidungsträgern im Haus darlegen zu können. Insbesondere unternehmensintern ist nicht zuletzt aus Gründen der Akzeptanz wichtig, Transparenz über die bei der Modellierung und Kalibrierung getroffenen Annahmen, die Gründe für deren Festlegung sowie die Auswirkung alternativer Annahmen zu schaffen.

Prinzip 5 (Sparsamkeit): Das Kapitalmarktmodell ist so einfach wie möglich und nur so komplex, wie es die konkrete Anwendung und das Unternehmensprofil erfordern.

Ein ESG ist ein komplexes stochastisches Modell. Alle Annahmen des ESG zu verstehen und auch einem nicht-technischen Publikum verständlich darzulegen, ist eine schwierige Aufgabe. Sie wird erleichtert, in dem das Unternehmen das Prinzip der Sparsamkeit bei der Modellierung und Kalibrierung verfolgt. Sparsamkeit kann in der Praxis z.B. bedeuten, dass die Risikofaktoren Aktien und Private Equity zusammengefasst werden, oder dass auf einfachere Modelle zurückgegriffen wird. Für welche Risiko- oder Bewertungspositionen dies möglich ist, entscheidet das Unternehmen in Abhängigkeit vom Anwendungskontext und seinem Profil. Es sei betont, unbedingt eine Pseudogenauigkeit im ESG zu vermeiden, mit der versucht wird, die mangelnden Kenntnisse der Zusammenhänge und Modellierungsungenauigkeiten innerhalb des übergeordneten Unternehmensmodells zu überlagern.

Der ESG stellt Szenarien zur Verfügung, die die Bewertung bzw. die Einschätzung des Risikos unternehmensindividueller Produkte geeignet unterstützen. Für Bewertungsfragen bedeutet dies u.a., dass eine Kalibrierung an solchen Kapitalmarktinstrumenten vorgenommen wird, die den unternehmensindividuellen Produkten möglichst ähnlich sind. Im Hinblick auf Fragen der Risikoeinschätzung (z.B. SCR-Berechnung) bedeutet dies, dass für alle wesentlichen unternehmensindividuellen Produkte bzw. Risiken geeignete Risikofaktoren durch den ESG zur Verfügung gestellt werden.

Gerade bei der Einführung eines ESG in einem Unternehmen ist es ratsam, zunächst ein reduziertes Modell zu verwenden. Die Validierung des Modells und die Interpretation der Modellergebnisse werden so deutlich erleichtert. Entscheidungen auf Basis der Modellergebnisse müssen dann berücksichtigen, dass gewisse ökonomische Aspekte vernachlässigt bzw. vereinfacht einbezogen wurden.

In der Praxis beschränkt oftmals eine verlässliche Verfügbarkeit der für die Parameterschätzung benötigten historischen Daten die Komplexität der Modellierung.

Prinzip 6 (Flexibilität / Erweiterbarkeit / Verfügbarkeit): Ein ESG ist flexibel, so dass bei Bedarf Modelle für Risikofaktoren hinzugefügt oder ausgetauscht werden können. Zudem besteht die Möglichkeit, eine Neukalibrierung des Modells und die Erzeugung neuer Szenarien jederzeit effizient vornehmen zu können.

Aus den Prinzipien 1, 2 und 5 wird deutlich, dass es nicht *das eine* Kapitalmarkmodell im Unternehmen geben wird, sondern dass in Abhängigkeit von der Anwendung verschiedene Varianten des Kapitalmarkmodells in unterschiedlichen Kalibrierungen notwendig sind. Dies stellt Anforderungen an die Flexibilität des ESG. Es wird empfohlen, Erweiterungen möglichst einfach zu gestalten, damit eine Neukalibrierung des Modells effizient vorgenommen werden kann.

Die Flexibilität des ESG wird am besten durch einen modularen Aufbau des Modells gewährleistet. Es wird damit sichergestellt, dass der ESG dynamisch an die Veränderungen des Risikoprofils des Unternehmens angepasst werden kann.

Die Prozesse zur Erstellung von Szenarien für die Verwendung in der Unternehmenssteuerung und deren Einbindung in die Steuerungsprozesse sind so effizient und stabil, dass alle Anwendungen zeitgerecht bedient werden können.

Für unterschiedliche Anwendungen hat dies unterschiedliche Konsequenzen. Während z.B. ein ESG im täglichen Hedging von Variable Annuities-Produkten auch auf sehr kurzfristige Marktschwankungen reagiert, liegen Szenarien zur Risikokapitalberechnung nur quartalsweise oder gar jährlich vor.

Prinzip 7 (Verantwortung): Die inhaltliche Verantwortung für den ESG (Modellierung, Kalibrierung, Validierung) verbleibt immer beim jeweiligen Anwender bzw. Unternehmen.

Diesem Prinzip steht das Outsourcing von einzelnen Prozessschritten (z.B. Kalibrierung) im Rahmen des ESG nicht entgegen. Dies bedeutet aber auch, dass ein Unternehmen, welches z.B. einen von Externen kalibrierten ESG verwendet oder lediglich Szenariensätze erhält, eine qualifizierte eigene Qualitätssicherung durchführen muss.

Zudem verlangt dieses Prinzip eine klare Definition und Abgrenzung von Verantwortlichkeiten innerhalb eines Unternehmens in Bezug auf die einzelnen Prozessschritte im Kontext des ESG (z.B. Freigabe von Szenarien).

Prinzip 8 (Objektivierbare Modellierung / Zieldefinition): Das Unternehmen stellt objektivierbare Kriterien auf, die einer regelmäßigen Prüfung zugänglich sind und legt dar, wann es mit der Qualität des ESG einverstanden ist.

Es wird zwischen einer risikoneutralen und einer real world-Modellierung und Kalibrierung unterschieden. Die Begriffe risikoneutral und real world⁴ bezeichnen unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsmaße innerhalb finanzmathematischer Modelle.⁵ Während der risikoneutrale Ansatz als finanzmathematisches Verfahren zur marktkonsistenten Bewertung von Optionen geeignet ist (mark-to-model) und einen Preis zum Bewertungsstichtag als diskontierten Wert von Cashflows liefert, stehen bei der real-world Projektion die tatsächlich erwarteten Verteilungen der Zinsen, Renditen von Kapitalanlageklassen, Inflation usw. über den Projektionshorizont im Fokus.

In Bezug auf das Prinzip bedeutet dies, dass in einem der ersten Schritte klar definiert bzw. festgelegt wird, welche Fragestellungen mittels des ESG beantwortet werden bzw. in welchem Kontext er eingesetzt wird. Daraus folgen auch unterschiedliche Anforderungen an ein Modell. Bei der Modellauswahl muss sich dabei mit den zentralen Annahmen, die durch die Modellauswahl implizit getätigt werden, auseinandergesetzt werden. Hilfreich ist dabei ein Kriterienkatalog, der alle qualitativen und quantitativen Anforderungen, die das Unternehmen an den ESG stellt, und deren Erfüllung darlegt.

So sind zentrale Annahmen im risikoneutralen Kontext die Konsistenz der Szenarien zu Preisen von gehandelten Derivaten (Marktkonsistenz) und die Arbitragefreiheit. Des Weiteren wird angenommen, dass der zugrundeliegende Kapitalmarkt liquide ist. In der Praxis zeigt sich, dass z.B. für lange Laufzeiten und Korrelationen kein Markt vorhanden ist, der den modelltheoretischen Annahmen genügt. Dort werden plausible Annahmen getroffen und überprüft.

Für realistische Projektionen im real world Kontext, z.B. in der strategischen Unternehmensplanung oder der Bestimmung der strategischen Allokation hat ein erzeugter Szenariosatz plausible, das heißt z.B. zu als repräsentativ angesehenen, historischen Daten konsistente, stochastische Eigenschaften. Dabei entscheidet das Unternehmen selbst, welche historischen Daten auch in Abhängigkeit von der Anwendung als repräsentativ erachtet werden.

Eine für alle Zwecke und Zeiträume gültige Kalibrierung wird nur selten geeignet sein.

Prinzip 9 (Notwendigkeit der regelmäßigen Prüfung): Die Annahmen und Eigenschaften des verwendeten ESG werden regelmäßig auf Gültigkeit geprüft und mit dem ökonomischen und unternehmensinternen Umfeld abgeglichen.

Dieses Prinzip besagt, dass sich die Güte eines ESG im Zeitablauf ändern kann. So werden der Modellierungsprozess, Kalibrierungsprozess und insbesondere der Validierungsprozess als wiederkehrende Prozesse implementiert.

⁴ In der Literatur wird das real world Wahrscheinlichkeitsmaß häufig als *physical measure* bezeichnet.

⁵ vgl. z.B. Etheridge (2002) [1] und die Referenzen darin.

Im Rahmen der Validierung wird etwaiger Änderungsbedarf auf Ebene der Kalibrierung oder sogar der Modellierung identifiziert. Anschließend werden die entsprechenden Änderungsprozesse angestoßen. Zudem wird sichergestellt, dass nach jeder Änderung am Modell und jeder Szenariogenerierung der Validierungsprozess durchlaufen wird. Es sei darauf hingewiesen, eine Anwendung der Modellergebnisse ohne Validierung unbedingt zu vermeiden.

Prinzip 10 (Stabilität): Der ESG liefert möglichst robuste Ergebnisse für das Unternehmensmodell.

Hintergrund dieses Prinzips ist die nachfolgende Verwendung der generierten Szenarien in einem komplexen, nicht-linearen Unternehmensmodell. Dort können Veränderungen der Szenarieneigenschaften zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen, die eine Interpretation der Resultate erschweren. Daher sind die Modelle, die dem ESG zu Grunde liegen, und deren Kalibrierung so gestaltet, dass im Zeitverlauf möglichst stabile Ergebnisse erzielt werden.

Gleichwohl reagiert die Kalibrierung des ESGs hinreichend sensitiv auf Marktschwankungen.

Zudem betrifft dieses Prinzip die Stochastik des ESG selbst. Bei den Resultaten eines ESG handelt es sich um Ergebnisse eines Zufallsexperiments. Die Schwankung der Ergebnisse, die aus dem Unternehmensmodell abgeleitet werden, kann durch die Erhöhung der Szenarienzahl auf Kosten der Laufzeit reduziert werden.

Erläuterungsteil (Teil II)

3. Modellierung von Assetklassen und Risikofaktoren

3.1 Einleitung

Simulationen auf Basis ökonomischer Szenariogeneratoren gewinnen in der Versicherungswirtschaft zunehmend an Bedeutung. Hauptaufgabe eines ESG ist die Erzeugung von Szenariensätzen, um die Auswirkungen möglicher Kapitalmarktentwicklungen aufzuzeigen. Seine Aufgabe ist ausdrücklich nicht die Abgabe von Punktprognosen, sondern die Generierung von Verteilungsprognosen (siehe Glossar). Typische Einsatzgebiete sind z.B: ALM-Analysen, Optimierung der strategischen Asset Allocation (SAA), Berechnung des verfügbaren und erforderlichen ökonomischen Kapitals.

Speziell im Rahmen von Solvabilität II (2009) [2] sind insbesondere im Zusammenhang mit Internen Modellen ESGs essentiell. Der ESG genügt deshalb beim Einsatz in diesem Kontext den aufsichtsrechtlichen Anforderungen. Im Detail impliziert dies eine Reihe von Anforderungen an die Inhalte, die Dokumentation und die Prozesse.

Im Zuge des Modellierungsprozesses werden zunächst diejenigen Fragen beantwortet, welche Risikofaktoren und welche Assetklassen im Portfolio des Unternehmens wesentlich sind. Anschließend wird geprüft, welche stochastischen ökonomischen (Teil-) Modelle bzw. Kapitalmarktmodelle verwendet werden und ob entsprechende Szenariensätze selbst zu erzeugen oder zuzukaufen sind. Bei Eigenentwicklungen ebenso wie bei der Verwendung eines Kapitalmarktmodells bzw. von Teilmodellen eines externen Anbieters wird der Anwender folgende Fragen angemessen beantworten:

- Welche Ziele werden mit dem Einsatz von ökonomischen Szenarien verfolgt?
- Werden real world-Projektionen und/oder marktkonsistente Bewertungen durchgeführt?
- Über welchen Zeithorizont und mit welcher Periodenlänge wird modelliert?
- Welche Anzahl von Simulationen wird erzeugt?
- Welche Ökonomien werden bei der Modellierung berücksichtigt?
- Welche Indizes repräsentieren einzelne Assetklassen bzw. Risikotreiber?
- Welche Detaillierungsebene ist angemessen?
- Wie werden Ist-Positionen den Modell-Assetklassen zugeordnet?
- Welche Anforderungen ergeben sich an die Dokumentation?
- Nach welchen Prinzipien sind Teilmodelle konzipiert?
- Welche Stärken und Schwächen hat bzw. haben das Modell bzw. die Teilmodelle?
- Welche Modellierungsansätze sind für bestimmte Teilmodelle geeignet?
- Wie werden Teilmodelle miteinander verknüpft?

Die keineswegs vollständige oben angegebene Aufzählung verdeutlicht, dass die Frage nach dem richtigen Kapitalmarktmodell nicht einfach zu beantworten ist. Vielmehr ergeben sich eine Fülle von Möglichkeiten und Ansätzen zu diesem Thema, die in zahlreichen Veröffentlichungen diskutiert werden. Die folgenden Ausführungen wollen die Einarbeitung in die Thematik erleichtern und Hilfestellung dabei geben, diese Ansätze zu bewerten.

Das Unternehmen stellen sicher, dass es die wesentlichen Prinzipien, die dem ESG hinsichtlich Modell und Kalibrierung zugrunde liegen, in ausreichendem Maße verstanden hat. Dazu gehört auch die Fähigkeit, diese einem sachverständigen Dritten nachvollziehbar erläutern zu können. Beispielsweise ist es bei der Bestimmung des benötigten Solvenzkapitals anhand eines Internen Modells im Rahmen von Solvabilität II notwendig, das dem Internen Modell zugrunde liegende Kapitalmarktmodell beurteilen und der zuständigen Aufsichtsbehörde eingehend erklären zu können.

Es wird gewissenhaft geprüft, ob das verwendete Modell sämtliche Kapitalmarktrisiken des Unternehmensportfolios abdeckt. So ist beim Internen Modell eine realistische Analyse der Unternehmenssituation aufgrund einer detaillierten Abbildung der Unternehmensspezifika möglich. Dies setzt u.a. voraus, dass das Kapitalmarktmodell auf die Anforderungen des Portfolios und des Unternehmensgeschäftsmodells zugeschnitten ist.

Es sei betont, die Modellierung so einfach wie möglich und so komplex wie nötig auszugestalten. Es wird im Folgenden verdeutlicht, dass die Modellierung einerseits nicht zu vereinfachend ausfallen darf; andererseits wird aber betont, dass es auch Grenzen der Modellierung gibt, die ein Ausufern des Modellierungsaufwandes verhindern. Aus diesem Grund werden hier keine eindeutigen Aussagen zum Kapitalmarktmodell gemacht, sondern es wird darauf hingewiesen, im Einzelfall die konkreten Anforderungen zu beachten. Dies wird durch den prinzipienbasierten Ansatz von Solvabilität II verstärkt. Daher setzt diese Arbeit keine Mindeststandards, sondern es wird versucht, die Prinzipien von Modellierungsansätzen aufzuzeigen.

Die Motivation bei der Auswahl des ESG für ein Internes Modell liegt nicht darin, ad hoc eine möglichst geringe Solvenzkapitalanforderung ausweisen zu können, sondern erwächst vielmehr daraus, das benötigte Risikokapital und dessen Treiber möglichst exakt bestimmen zu können.

Es wird darauf hingewiesen, die im Abschnitt 2 dargestellten allgemeinen Prinzipien bei der Modellierung eines ESG zu beachten. Von besonderer Bedeutung sind die Folgenden:

- Ganzheitliche Modellierung und angemessene Auswahl der Risikofaktoren
- Berücksichtigung der Marktkonsistenz
- Anwendungsorientierte Spezifikation der Szenarien.

Ganzheitliche Modellierung und angemessene Auswahl der Risikofaktoren

Die modellierten Variablen sind konsistent und holistisch untereinander verknüpft (vgl. Prinzip 8).

Keine Assetklasse und kein Risikofaktor steht für sich allein. Eine angemessene Verknüpfung von Assetklassen und Risikofaktoren ist von zentraler Bedeutung.

Ein häufig verwendeter Ansatz ist dabei die Verknüpfung von Assetklassen über die Korrelationen der zugrunde liegenden stochastischen Prozesse. Bei diesem Ansatz ist es allerdings möglich, dass ökonomisch schwer interpretierbare Szenarien gehäuft auftreten. Es wird darauf hingewiesen, diesen Aspekt beim Aufsetzen eines ESG und der Interpretation der Ergebnisse entsprechend zu beachten.

Eine andere Möglichkeit, bei der sämtliche Risikofaktoren gemeinsam betrachtet werden können, bieten Kaskadenmodelle. Ein Kaskadenmodell stellt einen weiteren Ansatz dar, ökonomische Zusammenhänge zu modellieren. Der kaskadenartige Aufbau zeichnet sich dadurch aus, dass einige wenige grundlegende Prozesse die anderen Prozesse beeinflussen. Auf der obersten Kaskade können dies z.B. die Inflation und das Wirtschaftswachstum sein. Diese Prozesse beeinflussen dann die darunterliegenden Kaskaden, z.B. die nominalen Zinssätze, die sich dann als Summe der bereits simulierten Inflation und der zusätzlichen Realverzinsung ergeben.

Die Verknüpfung der beiden Ansätze (Korrelationen und Kaskaden) ist eine weitere Alternative, die die Vorteile beider Ansätze verbindet.

Das Unternehmensportfolio bestimmt die Auswahl der Risikofaktoren (vgl. Prinzip 2). Das konkret vorliegende Profil und die jeweilige Aufgabenstellung determinieren die Risikofaktoren und die modellierten Assetklassen.

Berücksichtigung der Marktkonsistenz

Der ESG stellt Szenarien zur Verfügung, die die Bewertung bzw. die Einschätzung des Risikos aus unternehmensspezifischen Kapitalmarkt- und Versicherungsprodukten geeignet unterstützen (vgl. Prinzip 1).

Für Bewertungsfragen bedeutet dies u.a., dass eine Kalibrierung an Instrumenten vorgenommen wird, die den unternehmensspezifischen Produkten möglichst ähnlich sind.

Für Fragen der Risikoeinschätzung (z.B. SCR-Berechnung) bedeutet dies, dass für alle wesentlichen unternehmensspezifischen Produkte geeignete Risikofaktoren durch den ESG zur Verfügung gestellt werden.

Bei Bewertungen gemäß den MCEV-Prinzipien (siehe European CFO Forum MCEV Principles (2009) [3]) stellt die Marktkonsistenz die zentrale Anforderung dar. Darunter versteht man die Fähigkeit des Modells, die Preise von gehandelten Assets zum Zeitpunkt $t=0$ korrekt wiederzugeben. In der Praxis bedeutet dies, dass die Preise einiger repräsentativer Assets wie Bonds, Aktien, Call Optionen usw. innerhalb eines vorgegebenen kleinen Toleranzbereichs repliziert werden müssen. Eine exakte Bewertung sämtlicher weltweit gehandelter Assets innerhalb eines Modells mit endlich vielen Parametern ist hingegen weder erforderlich noch technisch möglich. Die Anforderung der Marktkonsistenz kann sowohl mit einem risikoneutralen Modell wie auch mit einem Real-World-Modell erfüllt werden. Im letzteren Falle werden hierfür die sog. Deflatoren benötigt.

Bemerkung: Heutzutage stellt der Begriff einer risikolosen Zinskurve mehr denn je ein theoretisches Konzept dar. Betrachten wir etwa eine im Kontext von Solvency II anhand einer von EIOPA vorgegebenen risikolosen Kurve vorzunehmende Bewertung. Eine marktkonsistente Bewertung der Anleihen in diesem Kontext bedeutet dann lediglich eine Bewertung unter Verwendung der vorgegebenen Zinskurve, wobei die Kapitalmärkte eine davon abweichende Zinskurve der Bewertung der Anleihen zugrunde legen können.

Anwendungsorientierte Szenariensätze

Die Auswahl der Szenariensätze orientiert sich an der Anwendung (vgl. Prinzip 1); oder anders ausgedrückt: Die Anwendung definiert den ESG-Szenariensatz. Dies betrifft die Periodenlänge der Modellierung (z.B. Tag, Woche, Monat, Quartal, Jahr), den Zeithorizont und die Anzahl der Szenarien.

Ein ESG muss nicht einen Szenariensatz für sämtliche Anwendungen erzeugen. Komplexe Aufgaben wie MCEV und ALM erfordern im Gegenteil unterschiedliche Szenariensätze und ggf. sogar unterschiedliche Kapitalmarktmodelle.

So sind z.B. bei ALM-Untersuchungen im Sachversicherungsbereich Szenariensätze erforderlich, die mit Hilfe von Extremszenarien über einen Zeitraum von maximal 5 Jahren den kurzfristigen Liquiditätsbedarf ermitteln. Bei der Berechnung des MCEV werden bei einer Personenversicherung dagegen Szenariensätze über einen Zeitraum von über 40 Jahren und mehr benötigt, die eine marktkonsistente Bewertung ermöglichen.

3.2 Modellierung

3.2.1 Periodenlänge der Modellierung

Grundsätzlich gilt, dass eine kürzere Periodenlänge die Modellierungsgenauigkeit erhöht, sofern entsprechende Daten verfügbar sind.

Dies gilt sicherlich auch für ein Internes Unternehmensmodell, in welchem z.B. monatliche Allokationsregeln ein verbessertes Portfolio- und Risikomanagement ermöglichen können. Es stellt sich aber die Frage, ob dieser Effekt für die Anwendungsbereiche eines Kapitalmarktmodells in jedem Fall von Bedeutung ist. Um dieses zu eruieren, wurde der Einfluss der Periodenlänge an einem Musterunternehmen untersucht (siehe Beispielsimulation im Anhang).

In diesem Beispiel ist die Periodenlänge des ESG relativ unerheblich für die spätere Anwendung, wenn Verteilungsaussagen im Vordergrund stehen. Eine Ausgabe in Jahren erscheint vollkommen ausreichend.

Gleichzeitig bestätigt dieses Beispiel, dass Unternehmenskennzahlen durch eine detaillierte Unternehmensmodellierung verbessert werden können.

Es ist zu beachten, dass diese Aussagen sich rein auf statistische Modellaussagen beziehen. Ein einzelner Simulationslauf unterscheidet sich im Ergebnis deutlich, je nachdem ob mit monatlichen oder jährlichen ESG-Daten gearbeitet wird. Die Unterschiede einzelner Simulationsläufe werden allerdings insgesamt wieder ausgeglichen.

3.2.2 Zeithorizont der Modellierung

Der notwendige Zeithorizont hängt von der Aufgabenstellung ab. Etwas konkreter lässt sich Folgendes sagen:

- Bei Projektionen werden u.a. die strategische Ausrichtung auf Risiken überprüft und Handlungsalternativen aufgezeigt. Dies erfordert einen Modellierungshorizont, der 3 bis 5 Jahre für eine mittelfristige Planung aber auch bis zu 20 Jahre für eine langfristige Planung betragen kann.

- Für marktkonsistente Bewertungen ist theoretisch der Modellierungshorizont so lang zu wählen, wie sich die versicherungstechnischen Verpflichtungen belaufen. In der Schaden- und Unfallversicherung können dies einige wenige Jahre sein, allerdings kann dieser Zeitraum im Krankenversicherungsbereich sogar 100 Jahre überschreiten. Aus praktischen Gründen beschränkt sich der Modellierungshorizont bei diesen langen Zeiträumen auf ca. 40 Jahre in der Lebensversicherung bis ca. 60 Jahre in der Krankenversicherung. Daher bleibt einem Anwender die Verantwortung der Prüfung überlassen, ob die versicherungstechnischen Verpflichtungen durch einen verkürzten Zeitraum adäquat abgebildet werden können.

Der Kalibrierungshorizont hängt von der Verfügbarkeit der benötigten Daten unter Beachtung auftretender Strukturbrüche ab.

Dass der modellierte Zeithorizont auch Auswirkungen auf die Auswahl von Modellen haben kann, wird am Beispiel des Zinsmodells erläutert.

Das zurzeit im Bankenbereich gern eingesetzte LIBOR Market – Modell (LMM) hat sich für Bewertungen besonders im kurzfristigen Bereich bewährt, während es Bewertungen im langfristigen Bereich eher überschätzt, da es die Eigenschaft besitzt, sehr hohe Zinssätze zuzulassen, die den Erwartungswert nach oben ziehen. Daher werden für Bewertungen im Langfristbereich eher sogenannte Short Rate Modelle bevorzugt.

Es gilt jedoch der Grundsatz, kein Modell als ungeeignet zu klassifizieren, solange sich der Anwender über die Modellbegrenzungen bewusst ist.

3.2.3 Anzahl der zu simulierenden Szenarien

Generell ist es wünschenswert eine möglichst hohe Zahl von Szenarien zu simulieren, um einen möglichst geringen Standardfehler zu erhalten. Laufzeitgründe beschränken jedoch das technisch Machbare.

Eine Möglichkeit, die Genauigkeit bei unveränderter Anzahl an Szenarien zu steigern, ist der Einsatz von varianzreduzierenden Verfahren wie antithetische Ziehungen oder Control-Variate-Ansätzen (vgl. Glassermann (2000) [4], Szechtman (2003) [5]).

Darüber hinaus hängt die genaue Anzahl an Szenarien stark von der Anwendung ab, von der betrachteten Statistik und von der geforderten Stabilität der Ergebnisse. Folgende Überlegungen sollen dies verdeutlichen:

Angenommen es wurden n Unternehmensergebnisse unter n ökonomischen Szenarien berechnet. In diesem Fall liegen der Größe nach geordnete Simulationsergebnisse $X_1 \leq \dots \leq X_n$ vor. Auf Grundlage dieser Beobachtungen soll nun das p -Quantil

$x_p = F_X^{-1}(p)$ der zugrundeliegenden theoretischen Verteilungsfunktion $F_X(\cdot)$ der Zufallsvariable X , die die zufälligen Unternehmensergebnisse repräsentiert, zur Bestimmung des benötigten Risikokapitals geschätzt werden. Ein möglicher Schätzer für das theoretische p -Quantil ist $\hat{x}_p := X_{(\lfloor np \rfloor + 1)}$. Dieser Quantilschätzer ist für große

Stichproben approximativ normalverteilt mit Erwartungswert x_p und Varianz $\frac{p(1-p)}{n[f_X(x_p)]^2}$,

d.h. $\hat{x}_p \sim N(x_p, \frac{p(1-p)}{n[f_X(x_p)]^2})$ (vgl. z.B. Rinne (2003) [6]). Die Varianz des

erwartungstreuen Schätzers ist demnach abhängig vom betrachteten Quantil, vom Stichprobenumfang und vom Funktionswert der zugrundeliegenden theoretischen Dichtefunktion $f_X(\cdot)$ an der Stelle $x_p = F_X^{-1}(p)$.

Der letztgenannte Punkt zeigt, dass die zugrundeliegende Verteilung („Anwendung“) einen erheblichen Einfluss auf die Wahl des Stichprobenumfangs hat. Die folgende Tabelle, in der die Varianz des Quantilsschätzers in Abhängigkeit vom gewählten p-Quantil und der zugrundeliegenden Verteilung abgetragen ist, zeigt, in welchem Maße sich die Varianz des Schätzers dabei ändert.⁶

	Normal- Verteilung $N(0,1)$	Exponential- Verteilung $Exp(\lambda)$	Log-Normal- Verteilung $Ln(0, \sigma^2)$	Cauchy- Verteilung $Ca(0, b)$	t-Verteilung $t(2)$
$p = 0.95$	$n^{-1} \cdot 4,6556$	$n^{-1} \cdot 5,72799$	$n^{-1} \cdot 1,10592$	$n^{-1} \cdot 53,1304$	$n^{-1} \cdot 55,4016$
$p = 0.99$	$n^{-1} \cdot 13,9370$	$n^{-1} \cdot 25,2635$	$n^{-1} \cdot 9,93489$	$n^{-1} \cdot 536,544$	$n^{-1} \cdot 1275,38$
$p = 0.995$	$n^{-1} \cdot 23,7942$	$n^{-1} \cdot 47,0338$	$n^{-1} \cdot 21,3015$	$n^{-1} \cdot 1320,76$	$n^{-1} \cdot 5050,37$
$p = 0.9975$	$n^{-1} \cdot 41,4027$	$n^{-1} \cdot 87,5791$	$n^{-1} \cdot 44,0620$	$n^{-1} \cdot 3144,15$	$n^{-1} \cdot 20100,38$

Tab. 1 Varianz des Schätzers in Abhängigkeit von Quantil und Verteilung

So werden z.B. bei der Schätzung des 99,5%-Quantils der betrachteten Exponentialverteilung im Vergleich zur Standardnormalverteilung doppelt so viele Stichproben benötigt, um die gleiche Varianz des Quantilschätzers zu erhalten. Aus der Tabelle ergibt sich, dass ein fixer Wert für die Mindestanzahl an Stichproben bzw. Szenarien nicht eindeutig vorgegeben werden kann.

Auch bei bekannter Verteilung lässt sich die Frage nach der optimalen Stichprobengröße für eine adäquate Schätzung lediglich heuristisch beantworten. Sei beispielhaft ein Versicherungsunternehmen betrachtet, dessen Geschäftsjahresverlust normalverteilt ist mit Mittelwert -1 Mrd. Euro und Standardabweichung 1 Mrd. Euro. In diesem Fall liegt das 99,5%-Quantil bei $-1 + 2,576$ Mrd. € $\approx 1,6$ Mrd. € und die Standardabweichung des

Quantilschätzers beträgt gemäß der Tabelle 1 $\sigma = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{23,7942} \cdot 10^9 \approx \frac{1}{\sqrt{n}} 4,9 \cdot 10^9$. Das

bedeutet, dass bei einer Stichprobengröße $n = 1000$ die Standardabweichung des Quantilschätzers noch bei ca. 154 Mio. Euro liegt! In diesem Fall ist kaum zu bestreiten, dass eine Erhöhung des Stichprobenumfangs bzw. der Simulationen angebracht ist. Bei einer Stichprobengröße von 10.000 ergibt sich eine Standardabweichung von ca. 49 Mio.

⁶ Die Parameter λ , σ und b wurden so gewählt, dass jeweils $x_p = F_X^{-1}(p)$ für alle Paare $(p, x_p) \in \{(0,95; 1,645), (0,99; 2,326), (0,995; 2,576), (0,9975; 2,807)\}$ für alle in der Tabelle angegebenen Verteilungsfunktionen $F_X(\cdot)$ gilt (außer der t-Verteilung).

Euro. Welche Abweichung noch akzeptabel ist, lässt sich objektiv nicht eindeutig festlegen. Hinweise für die Notwendigkeit einer genauen Modellierung und somit eines hohen Stichprobenumfangs könnten allerdings aus folgenden Überlegungen abgeleitet werden:

- Verhältnis der Standardabweichung des Quantilschätzers zum Mittelwert;
- eine geringe Differenz zwischen verfügbarem Kapital bzw. Eigenmittel und benötigten Risikokapital bzw. Solvenzkapitalanforderung, sofern das Modell zur Berechnung einer der letztgenannten Größen verwendet wird;
- starke Verknüpfung der Modellergebnisse mit der Unternehmenssteuerung;
- Kommunikation von Modellergebnissen an externe Stakeholder.

Im betrachteten Beispiel könnte somit eine Erhöhung des Stichprobenumfangs bzw. der Simulationen von 1000 auf 10000 angebracht sein.

Interessant ist darüber hinaus noch die folgende Frage: Wenn der geschätzte Quantilswert Unsicherheit beinhaltet, welcher Wert soll dann gewählt werden: das geschätzte Quantil, das geschätzte Quantil plus Sicherheitszuschlag für den Schätzfehler (konservativ) oder das geschätzte Quantil abzüglich eines Abschlags (progressiv)?

Unabhängig davon welcher Wert nun genau gewählt wird, ist es bei der internen oder externen Berichterstattung wichtig, die Unsicherheit in der Schätzung zu kommunizieren. Dadurch wird einerseits die Unsicherheit in den Ergebnissen offen gelegt und es werden mögliche Fehlinterpretationen vermieden. Andererseits können insbesondere Ergebnisschwankungen im zeitlichen Ablauf, die auf die Schwankung des Schätzergebnisses zurückzuführen sind, plausibel vermittelt werden. Dies gilt unabhängig vom gewählten Schätzverfahren. Insbesondere die Bildung eines Konfidenzintervalls ist hierfür ein geeignetes Mittel. Das durch $\hat{x}_p$ bestimmte Konfidenzintervall KI überdeckt den wahren Parameter x_p mit einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \alpha$ und ist hier gegeben

$$\text{durch: } KI = [\hat{x}_p - \sqrt{\frac{p(1-p)}{n[f_X(x_p)]^2}} \cdot \Phi^{-1}(1 - \frac{\alpha}{2}); \hat{x}_p + \sqrt{\frac{p(1-p)}{n[f_X(x_p)]^2}} \cdot \Phi^{-1}(1 - \frac{\alpha}{2})].$$

In der Regel wird entgegen der bisherigen Annahmen die zugrunde liegende Verteilung respektive Dichtefunktion nicht bekannt sein. In diesem Fall lässt sich jedoch bei großem Stichprobenumfang das Konfidenzintervall ebenfalls bestimmen (vgl. Hartung (2002) [7]).

3.2.4 Identifikation der relevanten Assetklassen

Nach Artikel 45 (ORSA) der Richtlinie Solvabilität II ist ein Versicherungsunternehmen verpflichtet, als Teil seines Risikomanagements regelmäßig eine interne Bewertung seines Risikos und seiner Solvabilität durchzuführen. Dafür müssen Verfahren und Tools (z.B. ESG) verfügbar sein, die der Wesensart, dem Umfang und der Komplexität der Risiken (hier: Marktrisiko), denen es ausgesetzt ist oder ausgesetzt sein kann, angemessen sind und gestatten, die kurz- und langfristigen Risiken adäquat zu erfassen und zu bewerten.

Bei der Identifikation der zu modellierenden Assetklassen sollte eine Balance zwischen notwendiger Genauigkeit in der Analyse der Risikosituation und wirtschaftlichem Aufwand für die Modellierung sichergestellt sein. Eine Definition von Modell-Assetklassen könnte sich daran orientieren, welche der IST-Assetklassen einen Anteil von mehr als 3% oder 5% des Gesamtportfolios darstellen. Oder sie orientiert sich daran, wie volatil bzw. risikobehaftet Teilbestände im Portfolio sind. Andererseits brauchen Assetklassen mit einem hohen Portfolioanteil nicht künstlich in kleinere Klassen zerlegt zu werden, wenn keine risikoanalytische Notwendigkeit dazu besteht.

Dabei ist zu beachten, dass nicht nur der Ist-Zustand des Portfolios die Modellierung determiniert, sondern das Mandat, das die mögliche Anlage in einzelne Klassen vorgibt. Befinden sich zum Beispiel derzeit keine Aktien im Bestand, sind aber signifikante Anlagen in Aktien laut interner Kapitalanlagerichtlinie erlaubt, dann wäre es sicherlich zweckmäßig, wenn das Kapitalmarktmodell grundsätzlich in der Lage ist, Aktien abbilden zu können.

Ähnliche Wertpapiere können zusammengefasst werden. Ähnlich ist hier in dem Sinne zu verstehen, dass die Rendite-/Risiko-Charakteristika vergleichbar sind bzw. die Wertpapiere von vergleichbaren Risikotreibern beeinflusst werden. Obwohl der Fokus der Identifikation relevanter Assetklassen auf der Aktivseite liegt, ist darüber hinaus zu untersuchen, ob die Passivseite zusätzlich sensitiv auf bestimmte Änderungen auf den Kapitalmärkten bzw. der Ökonomie reagiert. So wäre es hilfreich, wenn beispielsweise der ESG eines Kreditversicherers, obwohl womöglich für die Aktivseite nicht relevant, Kreditrisiken, Ausfallwahrscheinlichkeiten etc. modellieren könnte.

Eine mögliche Assetklassen-Einteilung könnte beispielsweise wie folgt aussehen:

- Aktien
- Renten
- Immobilien
- Hypotheken
- Beteiligungen (Private Equity)
- Hedge Fonds

Ferner verzweigt sich die Modellierung der obigen Assetklassen im Allgemeinen in die Abbildung der zugrunde liegenden Risikofaktoren. Darunter können etwa im Falle von Renten die risikolosen Zinssätze und Credit Spreads verstanden werden. Des Weiteren wird eine geeignete Aufteilung der Assets nach Ökonomien vorgenommen (z.B. World, Euro, US, Asien, Emerging Markets).

Beispiele:

- Schweizerische Aktien können Euroland-Aktien zugeordnet werden.
- Japanische Aktien können den (Developed) Aktien Asia Pacific zugeordnet werden.
- Unternehmensanleihen werden getrennt von Staatsanleihen modelliert. Es sei darauf hingewiesen, dass auch Staatsanleihen unter einem nennenswerten Kreditrisiko stehen können.

Wir beschließen den Abschnitt mit dem Hinweis auf das Prinzip 2.

3.2.5 Modellierung der wesentlichen Assetklassen / Risikofaktoren

Die Wahl eines Kapitalmarktmodells hängt von vielen Faktoren ab, z.B. vom Verwendungszweck des ESG, vom Ist- bzw. Zielpportfolio oder der Risikosituation des Unternehmens. Es ist z.B. einsichtig, dass ein konservativ operierendes Unternehmen andere Prioritäten als ein aggressiv auf dem Markt auftretendes Unternehmen setzt. Dieses schlägt sich auch im Internen Modell bzw. auch im stochastischen Kapitalmarktmodell nieder.

Daher fällt es schwer, definitive Aussagen darüber zu machen, welche Standards die Modellierung einzuhalten hätte. Stattdessen werden verschiedene Ansätze der Modellierung einzelner Assetklassen vorgestellt, wesentliche Stärken und Schwächen aufgezeigt und grundsätzliche Empfehlungen gegeben. Einerseits wird dabei darauf geachtet, dass die Teilmodelle nicht zu vereinfachend ausfallen; andererseits wird betont, dass es Grenzen der Modellierung gibt, die ein Ausufern des Modellierungsaufwandes und der Belastbarkeit der Referenzdaten verhindern (vgl. Prinzip 5).

Jeder Anwender entscheidet anhand seines Unternehmensportfolios selbst, in welchen Bereichen schwerwiegende Risiken enthalten sind, die dann natürlich detaillierter modelliert werden (vgl. Prinzip 2). Andererseits reicht es in den Fällen mit weniger komplexer Risikostruktur aus, ein einfach modelliertes, aber dafür umso klarer verständliches Modell einzusetzen. Denn wenn detaillierter modelliert wird, werden in der Regel mehr Daten analysiert und mehr Annahmen getroffen, was auf Kosten des Verständnisses und der Fehleranfälligkeit gehen kann.

Es ist schwierig, die Grenze zwischen einfacher und aufwändiger Modellierung zu ziehen. Hier ist das Fingerspitzengefühl und die Erfahrung des Anwenders gefragt, maßvoll zu agieren. So wird ein fundiertes Unternehmensmodell alle Bereiche des Unternehmens gleichermaßen detailliert beschreiben. Werden z.B. die versicherungstechnischen Verpflichtungen oder die Managementregeln bis ins kleinste Detail modelliert, so wird auch auf das Kapitalmarktmodell Wert gelegt. Außerdem zeigt die Erfahrung, dass sich eine realistische Abbildung auszahlt. Es liegt im eigenen Interesse des Unternehmens, die Risikosituation korrekt zu erfassen und z.B. das notwendige Solvenzkapital richtig einzuschätzen.

Das Portfolio gibt in vielen Fällen Hinweise auf Indizes, die einen bestimmten Risikofaktor eines Unternehmens repräsentieren könnten. Das gesamte unternehmensinterne Fachwissen (Risikomanagement, Kapitalanlage, Aktuariat) wird für die Auswahl der relevanten Indizes, Assetklassen, Risikotreiber etc. genutzt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Risikofaktoren/ Assetklassen beschrieben. Weitere Risikofaktoren bzw. Assetklassen werden kurz im Abschnitt 3.2.6) erwähnt. Die Literatur (vgl. [9] bis [13] im Anhang A.4 (Literaturhinweise)) enthält Material zur weiteren Vertiefung.

3.2.5.1 Modellierung von Abhängigkeiten

Falls der ESG in Form eines Kaskadenmodells aufgebaut ist, ergeben sich die Abhängigkeiten unmittelbar in den funktionalen Zusammenhängen und somit auch die impliziten Korrelationen.

Falls die Variablen über die Korrelationen der Störterme miteinander verknüpft werden, ist eine vollständige Korrelationsmatrix erforderlich, die auf Basis einer hinreichend langen Zeitreihe zu kalibrieren bzw. zu schätzen ist. Alternativ können die Korrelationen auf Basis einer Expertenschätzung festgelegt werden. Auf jeden Fall ist eine Dokumentation der Vorgehensweise erforderlich.

Zusammenhänge über Korrelationen abzubilden, ist in der Praxis sehr verbreitet, aber keineswegs die einzige oder uneingeschränkt favorisierte Methode. Daneben gibt es noch die Möglichkeit mit Copulas oder Mischformen von Korrelationen und Copulas zu modellieren. Eine Copula ist eine Funktion, die einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Randverteilungsfunktionen verschiedener Zufallsvariablen und ihrer gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilung angibt. Mit ihrer Hilfe kann man stochastische Abhängigkeit deutlich komplexer modellieren als beispielsweise mit dem Korrelationskoeffizienten.

Insgesamt lassen sich folgende Vor- und Nachteile zur Verwendung von Korrelationen bzw. Copulas angeben:

- Beide Verfahren sind anerkannt und zulässig
- Mit Hilfe von Copulas können stochastische Abhängigkeiten differenzierter abgebildet werden als mit Korrelationen
- Mit Hilfe von Copulas kann das Verhalten an den Verteilungsrändern komplexer modelliert werden
- Korrelationsparameter sind erheblich leichter zu kalibrieren als Copulas.
- Korrelationen sind in der unternehmensinternen Kommunikation den Entscheidungsträgern leichter zu vermitteln

3.2.5.2 Aktien

Die Modellierung von Aktien erfolgt in Form der Modellierung der Veränderungen (Renditen) des Aktienkurses bzw. des Indexstandes eines Aktienindex. Die Modellierung der Renditen kann als diskrete oder logarithmische Rendite erfolgen, wobei die logarithmische Form aufgrund der Additivitätseigenschaft⁷ zu bevorzugen ist.

Sind die Zahlungsströme aus Dividenden nicht relevant, ist es ausreichend, als Risikofaktor die Rendite auf Total Return Ebene zu modellieren.

Ansonsten werden zwei der drei folgenden Risikofaktoren benötigt:

- Rendite eines Performanceindex (Total Return)
- Rendite eines Kursindex
- Dividendenrendite

⁷ Logarithmische Renditen besitzen die Additivitätseigenschaft entlang der Zeitachse, d.h. die Bildung von kumulierten Renditen über größere Zeiträume kann durch einfache Addition der Einzelwerte erfolgen. Diskrete Renditen müssen über die Zeit hinweg hingegen multiplikativ verknüpft werden.

Modellierung der Aktienkursentwicklung

Die Modellierung der Renditeentwicklung ist üblicherweise unabhängig davon, ob ein Performance- oder Kursindex modelliert wird. Der Unterschied liegt lediglich in der Wahl der Parameter.

Die Wahl des stochastischen Prozesses soll dem Grundsatz folgen, dass die Rendite-/Risikocharakteristika angemessen berücksichtigt werden. Stilisierte Fakten, die insbesondere bei der Analyse von Tagesdaten festgestellt werden können, sind

- fette Verteilungsränder
- stochastische Volatilität
- Linksschiefe

Der einfachste Modellierungsansatz ist eine Brownsche Bewegung:

$dR(t) = \mu dt + \sigma dW(t)$, wobei $R(t)$ die Rendite und $W(t)$ einen Standard-Wiener-Prozess mit $t \geq 0$ darstellen;

Hierbei werden der Mittelwert μ und die Volatilität σ als konstant angenommen. Infolgedessen sind die Log-Renditen normalverteilt und die oben genannten stilisierten Fakten sind nicht in den simulierten Return-Verteilungen zu finden. Daher ist eine Modellierung der Aktien mittels eines solchen einfachen Ansatzes höchstens für Bewertungen, aber nicht für eine Risikoanalyse zu empfehlen. Insbesondere wenn der Fokus wie unter Solvabilität II auf den Verteilungsändern liegt.

Ergänzungsmöglichkeiten bestehen in der Berücksichtigung der stochastischen Volatilität und fetter Verteilungsränder, w.z.B. in Form eines (G)ARCH-Modells oder eines Markov-Mischungs- oder Heston-Modells oder auch durch die Verwendung von Lévy-Prozessen.

Desweiteren ist die Abkehr von einer konstanten Volatilität auch dann sinnvoll, wenn im Portfolio Aktien(index)optionen enthalten sind. Generell ist eine explizite Modellierung dann in Betracht zu ziehen, wenn im Portfolio Finanzinstrumente enthalten sind, deren Wert u.a. von der Volatilität abhängt.

Modellierung der Dividendenrendite

Die Entwicklung der Dividendenrendite auf stochastischer Basis ist generell wünschenswert. Andere vereinfachende Varianten, w.z.B. konstanter Prozentsatz oder Prozentsatz gekoppelt an die Kursentwicklung im Pfad, sind denkbar.

Bei einer stochastischen Modellierung wird empfohlen, einen Mean-Reversion-Prozess zu wählen, weil diese Auswahl die Eigenschaften von Dividendenrenditen reflektiert, die um einen langfristigen Wert schwanken, und Verläufe abbildet, wo sich Phasen von hohen und niedrigen Dividendenrenditen abwechseln.

Verknüpfung von verschiedenen Aktienindizes bzw. Berücksichtigung der Fremdwährungskomponente (FX)

Sofern kein Kaskaden-Modell gewählt wird, kann die Verknüpfung über die Wahl von geeigneten Korrelationen erfolgen.

Falls Fremdwährungen nicht explizit modelliert werden, werden deren Effekte in der geeigneten Wahl der Parameter Mittelwert, Volatilität und Korrelation adäquat berücksichtigt.

3.2.5.3 Zinsen

Für die Modellierung der Zinsstrukturkurven gibt es eine Vielzahl von Ansätzen. Im Folgenden werden einige bekannte kurz vorgestellt. Die Auswahl der vorgestellten Modelle stellt weder eine Empfehlung dar, noch soll der Eindruck erweckt werden, dass nicht erwähnte Modelle damit als nicht adäquat angesehen werden. Es soll lediglich ein Überblick über die besonderen Eigenschaften und Besonderheiten der verschiedenen Modelle und damit die Bandbreite der Modellierungsmöglichkeiten illustriert werden.

Es ist üblich, den Zinsbewegungen die sog. "Mean Reversion"-Eigenschaft zu unterstellen und die Zinsen entsprechend zu modellieren. Dabei wird angenommen, daß die Zinsen langfristig einen Trend zu einer Art "Mittelwert" μ aufweisen. Dabei kann μ als konstant, als deterministisch und jahresabhängig oder als stochastischer Prozess modelliert werden.

Eine Reihe von Zinsmodellen beruht auf der Short Rate $r(t)$, der Zeitintensität der Zinsen. Die Short Rate wird mit Hilfe einer stochastischen Differentialgleichung modelliert. Die Preise von Nullkuponanleihen $F(r,t)$ (Zero Bonds) ergeben sich aus dieser Short Rate mittels Integration. Die Short Rate $r(t)$ besitzt demnach die komplette Information der gesamten Zinsstrukturkurve. Short Rates sind am Markt nicht beobachtbar.

Prominente Vertreter von Short Rate Modellen sind

- Vasicek: $dr(t) = k(\mu - r(t))dt + \sigma dW(t)$
- Cox-Ingersoll-Ross (CIR): $dr(t) = k(\mu - r(t))dt + \sigma \sqrt{r(t)} dW(t)$
- und Black-Karasinski (BK): $d \ln(r(t)) = k(\mu - \ln(r(t))) dt + \sigma dW(t),$

wobei hier

$r(t)$	aktuelle short rate,
μ	langfristiger Durchschnitt der short rate,
k	mean-reversion Parameter,
σ	Volatilität,
$W(t)$	Wiener Prozess.

Vasicek- und CIR-Modelle haben die angenehme Eigenschaft, dass die Integration der Nullkuponanleihen geschlossen erfolgen kann. Dies erlaubt eine einfache funktionale Berechnung der gesamten Zinsstrukturkurve, während Black-Karasinski Modelle über die gesamte Laufzeit integriert werden müssen (siehe auch Schmidt (2004) [8]).

Die Short Rate der Vasicek-Modelle ist normalverteilt, daher treten negative Zinsen auf.

Die Short Rate der CIR-Modelle ist chi-quadrat-verteilt und negative Zinsen sind theoretisch ausgeschlossen.

Die Short Rate der BK-Modelle ist log-normalverteilt und immer positiv.

- LIBOR Market Modelle

Das LIBOR Market – Modell (LMM) beschreibt die Bewegung der LIBOR Forward Rates L_i für die Zeitspanne $[i, i + 1]$. Konkret wird diese für $i = 1, 2, \dots, n$ durch den folgenden Ansatz beschrieben: $dL_i(t) = L_i(t)(\mu_i(t) + \sigma_i(t)dW_i(t))$ mit $\langle dW_i, dW_j \rangle = \rho_{ij}$

Dieser Ansatz ist folgendermaßen charakterisiert:

- Mit den LIBOR Forwards werden Größen modelliert, die am Markt beobachtbar sind
- Bei der Modell – Kalibrierung kann die Start – Zinskurve konstruktionsbedingt exakt getroffen werden.
- Die Verteilung ist log-normal und positiv.

Bei log-normalen Verteilungen treten konstruktionsbedingt in manchen Szenarien sehr hohe Zinsen auf. Bei der Normalverteilung hingegen kommen negative Zinsen vor. Eine reichhaltigere Zinsdynamik kann von mehrdimensionalen Modellen generiert werden, insbesondere sind dann die Zinsen für verschiedene Laufzeiten nicht perfekt miteinander korreliert.

Mit all diesen Modellen können Zinskurven beliebiger Fälligkeitsdauer modelliert werden; ggf. nicht direkt sondern durch Interpolation.

Bemerkung: Vor Jahren bevorzugte man Zinsmodelle, bei denen negative Zinsen nicht vorkommen konnten. Heutzutage sind risikolose Zinsen für eine Reihe von Währungen und Laufzeiten negativ. Deshalb muss auch ein adäquates Zinsmodell negative Zinsen abbilden können.

3.2.5.4 Credit

Unter Kreditrisiko versteht man die Gefahr, dass ein Kreditnehmer die ihm gewährten Kredite nicht oder nicht vollständig vertragsgemäß zurückzahlen kann oder will. Wir beschränken uns hier auf den Fall, dass es sich bei dem Kredit um Corporate Bonds handelt.

Die Corporate Bonds können mithilfe verschiedener Ansätze modelliert werden. Die einfachste Methode besteht darin, die Corporates im Modell als risikofrei anzusehen und ggf. die Kupons anzupassen, um die echten Marktwerte zum Projektionsbeginn zu treffen. Dieser pragmatische Ansatz wurde oftmals mit guten Ratings / geringen Spreads im zu modellierenden Portfolio begründet. Allerdings zeigte die Marktentwicklung im Jahre 2008, dass die Modelle das mögliche Auftreten von Kreditkrisen nicht vernachlässigen sollten, zumal die Modell - Berechnungen ggf. über einen Horizont von 40 oder mehr Jahren durchgeführt werden.

Ein etwas aufwändigeres Verfahren stellt die sog. 4-Komponenten-Methode dar. Bei diesem Ansatz wird ein Corporate Bond in risikolose Kupons, eine Staatsanleihe, eine Aktie und einen Short Call zerlegt. Die Komponenten werden derart gewählt, dass deren Gesamt - Marktwert zum Projektionsbeginn dem echten Corporate - Marktwert entspricht und deren Gesamt - Schlusszahlung niemals das Nominal des Corporate übersteigen kann. Dieser Ansatz ermöglicht die Abbildung pfadabhängiger Defaults mithilfe der Aktienkomponente. Marktkonsistenz ist anzunehmen, wenn sie auf die zugrunde liegenden Assetklassen "Risikofreie Anleihen" und "Aktien" zutrifft. Allerdings können bei diesem Verfahren weder die Ratings als solche noch deren Migrationen abgebildet werden. Ferner kann die Neuanlage in Corporate Bonds nicht modelliert werden, da die Zerlegung eines Corporate Bonds in Komponenten mithilfe eines Kalibrierungsprogramms vor dem eigentlichen Modell - Lauf erfolgen soll.

Die Ereignisse des Jahres 2008 haben verdeutlicht, dass die Rating - Migrationen modellierungswürdig sind. Ferner haben die historisch hohen Spreads zum Ende 2008 die Attraktivität der Corporate Bonds für die Neuanlage erhöht und somit die Notwendigkeit expliziter Modellierung von Corporate Bond - Käufen unterstrichen. Einen möglichen Ansatz zur expliziten Modellierung von Ratings, Migrationen und Defaults stellt das Modell von Jarrow, Lando und Turnbull ("JLT") dar. In diesem Modell wird mit einer festen Real World - Übergangsmatrix gearbeitet und angenommen, dass die Ratings die Markov-Eigenschaft erfüllen, d.h. nur vom aktuellen Zustand und nicht von der Vergangenheit abhängen. Für marktkonsistente Berechnungen wird die Real - World - Übergangsmatrix mithilfe eines Cox - Ingersoll - Ross - Prozesses geeignet "skaliert" und somit insbesondere pfadabhängig gemacht. Ferner wird mithilfe eines Korrelationsansatzes berücksichtigt, dass die Defaults von Corporate Bonds in Jahren mit einer guten Aktienperformance weniger oft auftreten als in Aktiencrash - Jahren. Neben einer expliziten Abbildung von Ratings und Migrationen ermöglicht der JLT - Ansatz die Modellierung einer Neuanlage in Corporate Bonds. Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass die Ratings z.T. veraltet oder subjektiv sein könnten.

3.2.5.5 Immobilien

Analog zur Aktienmodellierung werden für eine marktkonsistente Immobilienmodellierung insbesondere die impliziten Volatilitäten von Immobilien-Optionen benötigt. In der Praxis ist dieser Punkt jedoch sehr problematisch, denn:

- es gibt keinen liquiden Markt in Immobilien-Derivaten
- ein Konzept zur Bewertung von Immobilienoptionen nach Black-Scholes wäre nicht geeignet, weil die Transaktionskosten bei Immobilien sehr hoch sind.

Darüber hinaus besteht ein grundsätzliches Problem darin, dass Immobilien keine standardisierten Güter sind. Es bestehen vielmehr enorme Unterschiede je nach Standort, Zweck (Gewerbeimmobilie vs. Wohnimmobilie), Qualität etc.

Ferner sind die Immobilienpreise das Ergebnis von Bewertungen, welche nicht unbedingt transparent sind. Da eine Immobilienbewertung unter anderem das Ergebnis der vorangegangenen Bewertung einbezieht, kommt es zusätzlich zu einer gewissen Autokorrelation.

Die beschriebenen Probleme verdeutlichen die Notwendigkeit einer pragmatischen Herangehensweise. Im Folgenden werden einige gängige Ansätze kurz vorgestellt.

- *Verwendung einer externen Immobilien-Simulation.*
Dies ist insofern „objektiv“, als die Möglichkeit von eigenen Fehldeutungen der Daten ausgeschlossen wird. Problematisch ist dieser Ansatz dann, wenn die vom Unternehmen gehaltenen Immobilien und die von den Externen bei der Modell-Kalibrierung verwendeten Immobiliendaten nicht zusammenpassen. Ist die aus eigenen Zeitreihen ermittelte Volatilität *niedriger* als die bei der externen Simulation unterstellte, so bedeutet dies nicht, dass die Daten nicht zusammenpassen. Eine niedrige Zeitreihen-Volatilität kann nämlich an den Immobilien-Bewertungen liegen.
- *Verwendung eines „passenden“ Immobilien-Index als Kalibrierungsgrundlage.*
Es ist darauf zu achten, dass der betrachtete Index zum unternehmensspezifischen Immobilienportfolio passt.
- *Ansatz von Immobilien als Linearkombination aus Aktien und Anleihen.*
Dieser Ansatz umgeht die eigentliche Immobilien-Modellierung und erfordert die folgenden Annahmen:
 - Gewicht der Aktien in der Linearkombination
 - Restlaufzeit der in der Linearkombination zu betrachtenden Anleihen
 - Berechnungsansatz für Mieten.

Grundsätzlich werden zwei der drei folgenden Risikofaktoren benötigt:

- Performanceentwicklung (Total Return)
- Kursentwicklung
- Laufende Erträge (z.B. Mieteinnahmen).

Durch die oben beschriebenen Ansätze kann die Kursentwicklung respektive die Performanceentwicklung stochastisch modelliert werden. Die Entwicklung der laufenden Erträge auf stochastischer Basis ist ebenfalls möglich. Andere vereinfachende Varianten, z. B. konstanter Prozentsatz oder Prozentsatz gekoppelt an die Kursentwicklung im Pfad, sind auch darstellbar.

3.2.5.6 Commodities

Sucht man nach Einflussfaktoren für Spot-, Forwardpreise oder Indizes von Rohstoffen, so ist es hilfreich, die Betrachtung in verschiedene Betrachtungshorizonte herunter zu brechen.⁸ Dabei ist festzuhalten, dass es „den“ Rohstoff gar nicht gibt. Jeder Rohstoff hat seine ureigenen Charakteristika und müsste strenggenommen separat betrachtet werden. Daher gilt hier insbesondere das Prinzip 8.

Die Herausforderungen bei der Modellierung von Rohstoffpreisen sind vielfältig. Da wären z.B. dynamische Volatilitäten (stochastische Volatilitätsmodelle), saisonale Preisschwankung (parametrische Modelle), dynamischer Convenience Yield und die Modellierung der Veränderungen der Forwardkurven (Faktormodelle). Darüber hinaus werden im Kontext von ökonomischen Szenariogeneratoren die komplexen Abhängigkeiten zwischen ökonomischen Rahmenbedingungen sowie Angebots- und Nachfrageschocks auf den Rohstoffmärkten modelliert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Modellierung von Rohstoffpreisen komplex ist und von vielen externen und schwer zu modellierenden Faktoren abhängt.

Daher ist der Versuch einer genaueren Modellierung mit hoher Vorsicht und Expertise vorzunehmen. Sofern Anlagen in Rohstoffe nicht von größerer Bedeutung sind, werden diese zunächst in einem ersten Ansatz mittels einfachster Modellierung und dabei hohem Risikozuschlag eingehen.

3.2.5.7 Fremdwährungen

Sofern das Risiko von Fremdwährungen nicht in allen anderen Assetklassen implizit mit modelliert wird, wird das Fremdwährungsrisiko explizit modelliert. Ziel einer expliziten Modellierung ist es, ein Verfahren zu beschreiben, wie zusätzlich zum Euro weitere Währungen abgebildet werden können. Pro modellierte Währung wird der Umrechnungskurs (Wechselkurs) zum Euro ermittelt. Dabei müssen auch die Abhängigkeiten zwischen den Währungen beachtet werden.

3.2.5.7.1 Rein empirische Ansätze

Brownsche Bewegung: Ein einfacher Ansatz zur Modellierung von Wechselkursen ist die geometrische Brownsche Bewegung ohne Drift. Eine Drift wird nicht angesetzt, da die Fortentwicklung von Ökonomien vernachlässigt wird.

Stetige bzw. diskrete Gleichgewichtsmodelle: Geht man prinzipiell von Wechselkursen im dynamischen Gleichgewicht aus, so lassen sich aus Wechselkursdaten der Vergangenheit einfache Zeitreihen- bzw. stochastische Modelle ableiten. Aufwändiger sind diese Modelle, wenn Sprungprozesse hinzukommen (siehe Man (2007) [9]). Hier werden prinzipiell mit der Modellierung von Aktienprozessen vergleichbare Ansätze angesetzt.

3.2.5.7.2 Theoretisch begründete Ansätze

Zur Begründung von Wechselkursschwankungen bestehen mehrere Theorien, die einen Zusammenhang zwischen dem Wechselkurs auf der einen, sowie dem Preisniveau, dem Einkommen oder dem Zinssatz im In- und Ausland auf der anderen Seite herstellen. Diese

⁸Ein Rohstoffindex ist ein gewichteter Index von ausgewählten Rohstoffpreisen, welche Spot- oder Futurepreise sein können.

Theorien sind i.d.R. partialanalytisch, d.h. sie fokussieren auf die Veränderung einer oder weniger den Wechselkurs bestimmenden Größe(n).

Grundsätzlich kann man zwischen zwei Arten von Ansätzen unterscheiden:

Stromansätze: Sie zielen z.B. auf die Wirkung der Änderung des Preisniveaus oder des Zinssatzes. Zu dieser Richtung gehören der Zinsparitätenansatz (vgl. Blanchard (2006) [10]) und der Kaufkraftparitätenansatz (vgl. Nitsch, Graff, Müller (2007) [11]). Sie sind in Ihrer Modellierung komplexer als der folgende Ansatz.

Ansatz als stochastischer Prozess: Beispielhaft für die Modellierung der Wechselkurse als stochastische Prozesse wird hier der Wechselkursprozess $X(t)$ zweier Ökonomien als Lösung der stochastischen Differentialgleichung

$$dX(t) = [r_B(t) - r_F(t)] \cdot X(t) dt + X(t) \sigma_F(t) \cdot dW_F(t) \text{ beschrieben.}$$

Dies gilt bei gegebenem Anfangskurs $X(t_0)$, den modellierten kurzfristigen Zinsraten $r_B(t)$ der Basisökonomie und $r_F(t)$ der Fremdökonomie, einer gegebenen Volatilitätsfunktion $\sigma_F(t)$ und dem Wienerprozess $W_F(t)$.

Die Wahl $r_B(t) - r_F(t)$ für die Drift des Prozesses schließt Arbitragemöglichkeiten zwischen der in- und der ausländischen Ökonomie aus und ist notwendig für ein risikoneutrales Maß. Unter dem physikalischen Maß wird die Drift um einen Summanden $\zeta_F \cdot \sigma_F$ erweitert, wobei ζ_F den Marktpreis des Risikos bezüglich des Faktors für das Wechselkursrisiko W_F bezeichnet.

Ein Ansatz als stochastischer Prozess in dieser oder ähnlich abgewandelten Form ist relativ einfach und zugleich gegenüber einer reinen brownischen Diffusionsgleichung inhaltlich begründet. Er erscheint aufgrund der Datenlage vollkommen ausreichend. Korrelationen zwischen Fremdwährungen werden berücksichtigt.

3.2.5.8 Inflation

Eine Inflation beschreibt einen Anstieg des volkswirtschaftlichen Preisniveaus, z.B. aufgrund einer Vermehrung der Geldmenge in einer Volkswirtschaft.

Die Inflation kann analog zu Zinsraten modelliert werden, z. B. mit *1-Faktor short rate Modellen* wie dem Vasicek Modell:

$$di(t) = k (\mu - i(t)) dt + \sigma dW(t),$$

wobei hier

$i(t)$ aktuelle Inflationsrate,

μ langfristiger Durchschnitt der Inflationsrate,

k mean-reversion Parameter,

σ Volatilität,

$W(t)$ Wiener Prozess.

Eine weitere Möglichkeit der Modellierung der Inflation, welche auch einen Zusammenhang zwischen Inflation, Real- und Nominalzins erkennen lässt, ist eine verallgemeinerte Variante des obigen Modells:

$$di(t) = (r_N(t) - r_R(t) - k i(t))dt + \sigma dW(t)$$

wobei hier

$r_N(t)$ nominale Zinsrate für Anlagehorizont t ,

$r_R(t)$ realer Zinssatz bis t , der dem Gewinn an realer Kaufkraft bei einer Anlage zum nominalen Zins $r_N(t)$ entspricht

Die beiden hier vorgestellten Ansätze zur Modellierung der Inflation erlauben die Möglichkeit einer Deflation.

Bei einigen Anwendungen ist eine Unterscheidung zwischen der Preisinflation und anderen Inflationstypen relevant. Beispielsweise spielt die medizinische Inflation eine entscheidende Rolle bei den Projektionsrechnungen in der Krankenversicherung. Die Modellierung der medizinischen Inflation stellt ein offenes Thema dar, zumal sich die Projektionen in der Krankenversicherung nicht selten über einen Zeitraum von 60-80 Jahren erstrecken.

3.2.6 Weitere Assetklassen / Risikofaktoren

Hier werden im Folgenden weitere Assetklassen / Risikofaktoren aufgeführt, die hier nur kurz erwähnt werden.

3.2.6.1 Volatilitätsanpassung

Die Volatilitätsanpassung dient dazu, starke Wertschwankungen abzufedern, die sich aus nicht-fundamental gerechtfertigten Spread-Ausweitungen ergeben. Bei diesem Konzept handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Liquiditätsprämie sowie der Counter-Cyclical-Premium (CCP).

Für eine Bewertung mit Volatilitätsanpassung wird eine ESG-Kalibrierung anhand einer Startzinskurve vorgenommen, die die Volatilitätsanpassung beinhaltet. Dabei wird die Volatilitätsanpassung bei der Bewertung der Kapitalanlagen im Unternehmensmodell herausgerechnet, so dass die Volatilitätsanpassung nur für die Bewertung der Passiva angewendet wird.

3.2.6.2 Makroökonomische Variablen

Sollen makroökonomische Variablen wie das Bruttoinlandsprodukt, Arbeitslosenquote usw. modelliert werden, determiniert zumeist die Datenlage die Modellierung. Darüber hinaus werden für viele dieser Zeitreihen saisonbereinigte Daten zur Verfügung gestellt, auf die in der Regel nicht zurückgegriffen werden sollte.

Bei der Modellierung makroökonomischer Variablen kann aus dem Fundus ökonometrischer Modelle gewählt werden (z.B. Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) oder Fehlerkorrekturmodell (VECM) usw.), die in der Literatur ausführlich beschrieben werden und auf die daher hier nicht weiter eingegangen wird (vgl. Lütkepohl et. al. (2004) [12], Davidson, R., MacKinnon, J.G. (2004) [13]).

3.2.6.3 Alternatives

Es sei darauf hingewiesen, dass die Modellierung der nachfolgend betrachteten Assetklassen (Private Equity und Hedgefonds) erhöhte Anforderungen an die Modellierungsexpertise stellt. Andererseits darf dies nicht als Begründung für den Verzicht auf eine explizite Modellierung dieser Assetklassen dienen, da diese insbesondere das Risikoprofil massiv beeinflussen können.

3.2.6.4 Private Equity

Eine große Herausforderung bei der Asset Klasse Private Equity stellt die geringe Liquidität und damit einhergehende mangelnde Preistransparenz dar. Als Approximation kann in begründeten Fällen eine Modellierung in Analogie zur Anlageklasse Aktien erfolgen. Allerdings werden die Risikoparameter angemessen hoch gewählt, damit sie die Risikoparameter aller Standard-Aktien-Indizes im Sinne einer konservativen Risikoabschätzung übersteigen.

3.2.6.5 Hedge Fonds

Hedge Fonds investieren in die bisher genannten Asset Klassen und können damit per se als ein Portfolio aus obigen Wertpapieren interpretiert werden. Alternativ kann auch ein spezifisches Return-Profil unterstellt werden und die zugehörigen (in der Regel asymmetrischen) Charakteristika als zusätzliche Asset-Klasse modelliert werden.

Mapping auf bestehende Assetklassen

Basierend auf obiger Interpretation könnte man Hedge Fonds auf bereits modellierte Assetklassen abbilden. Allerdings besteht in den seltensten Fällen die erforderliche Transparenz über die Zusammensetzung des zugrundeliegenden Portfolios, so dass nicht unmittelbar ersichtlich ist, durch welche Risikofaktoren die Charakteristika angemessen erfasst werden. Als Lösungsansatz zur Ermittlung des Exposures (Sensitivitäten) zu den einzelnen Assetklassen bieten sich beispielsweise geeignete Regressionsanalysen an. Ergeben sich konsistente Ergebnisse und liegen keine Style-Shifts vor, kann das Hedge Fonds-Exposure auf die dahinterliegenden Assetklassen bzw. Risikofaktoren allokiert werden.

Modellierung als eigene Assetklasse

Natürlich steht es frei, Hedge Fonds als eigene Asset-Klasse zu modellieren. Auch hier werden die Charakteristika angemessen erfasst. Die Modellierung kann auf Basis historischer Daten und Informationen über den/die Manager der investierten Hedge Fonds, über Investitionsstrategien, angestrebte Renditen und Volatilitäten und weitere Besonderheiten erfolgen.

3.2.6.6 Weitere alternative Assetklassen

Wie bereits erläutert, wird bei der Identifikation der zu modellierenden Assetklassen die Balance zwischen notwendiger Genauigkeit in der Analyse der Risikosituation und wirtschaftlichem Aufwand für die Modellierung gewahrt. Entscheidet man sich für den Verzicht auf eine explizite Modellierung einer Assetklasse, gilt der Grundsatz, dass aus Gründen einer konservativen Abschätzung ein Mapping auf höhervolatile Assetklassen erfolgt und die Ertragserwartung bewusst niedrig gewählt wird. Schließlich wird darauf geachtet, dass diese Assetklassen möglichst ähnliche Risikocharakteristika besitzen.

4. Anforderungen an die Kalibrierung und Validierung der ökonomischen Szenarien

4.1 Anforderungen an die Kalibrierung

Unter der Kalibrierung eines Modells versteht man die Schätzung der Modellparameter für eine spezifische Anwendung. Darunter fällt im Kontext der marktkonsistenten Bewertung vor allem die Anpassung der Modelle an Kapitalmarktdaten zu einem Stichtag und im Kontext von Risikokapitalmodellen vor allem die Parameterschätzung zur Abbildung von statistischen Eigenschaften der Assetklassen (wie Immobilien und Aktien) und Risikofaktoren (wie Zinsen und Wechselkursen).

Zunächst lässt sich feststellen, dass auf Grund der dynamischen Natur der Kapitalmärkte mit vielen Transaktionen in kurzen Zeiträumen zumindest für börsengehandelte Finanzinstrumente eine umfangreiche Datenbasis zur Kalibrierung vorliegt. Ein Teil dieser Daten ist öffentlich und ohne weitere Barrieren zugänglich. Auch kommerzielle Datenanbieter stellen diese und weitere Daten weitgehend komfortabel, zeitnah und zum Teil statistisch aufbereitet zur Verfügung.

Dennoch stellt die Kalibrierung eine der komplexesten Aufgaben bei der Einbettung eines Kapitalmarktmodells in die Unternehmenssteuerung dar. Dies liegt häufig am Mangel an objektivierbaren Kriterien, die die Auswahl aus dem umfangreichen Fundus von Methoden und Daten unterstützen. Diese Beobachtung wird im Folgenden separat für Modelle zur marktkonsistenten Bewertung und Risikokapitalmodelle erläutert.

Ein Modell zur marktkonsistenten Bewertung trifft am Kapitalmarkt beobachtete Preise für Finanzinstrumente möglichst genau. Darüber hinaus werden Preise für Finanzinstrumente, die am Kapitalmarkt nicht ohne weiteres beobachtet werden können, im Modell möglichst konsistent zu ähnlichen Finanzinstrumenten erzeugt.

Diese Aussagen sind interpretationsbedürftig. Zunächst wird festgestellt, ob Marktpreise für ein bestimmtes Finanzmarktprodukt beobachtbar sind. Solvabilität II hat hier den Begriff „deep and liquid markets“ entwickelt. Marktpreise sind demnach beobachtbar (im Sinne von für die Kalibrierung von Modellen verwendbar), wenn Finanzinstrumente eine hohe Anzahl von Transaktion aufweisen (liquid) und wenn einzelne bzw. wenige Transaktionen keine signifikante Auswirkung auf die Marktpreise haben (deep). Es ist nicht in jedem Fall eindeutig feststellbar, ob ein Markt oder Marktsegment diese Eigenschaften aufweist.

Ein Unternehmen formuliert daher für sich Kriterien, die es ihm erlauben, die Qualität der Modellpreise zu beurteilen.

Risikokapitalmodelle erfordern die Spezifikation der stochastischen Prozesse, die den Risikofaktoren zugrunde liegen. So ist es beispielsweise eine nicht unübliche Herangehensweise, sowohl Aktien- als auch Immobilienindizes mittels der Geometrischen Brownschen Bewegung zu modellieren. Die Kalibrierung stellt in diesem Fall die Schätzung der Parameter der stochastischen Prozesse, wie Drift, Volatilität und Korrelation der Störterme, auf Basis der zu einem Stichtag verfügbaren Kapitalmarktdaten dar.

Zur Schätzung wird zumeist auf historische Daten zurückgegriffen. In Abhängigkeit von der Länge der verwendeten Zeitreihe sowie von statistischen Methoden zur Glättung bzw. Anreicherung der Daten ergibt sich häufig eine große Bandbreite möglicher (und im Kontext der Daten plausibler) Schätzer.

Auch für Risikokapitalmodelle ist es also notwendig, die Auswahl der Kalibrierungsmethode objektivierbar zu gestalten. Das Unternehmen formuliert hier eigene Qualitätskriterien.

Beispiele:

- Alle verfügbaren Daten werden in die Kalibrierung einbezogen, um alle historisch beobachteten Schockeffekte zu berücksichtigen. Datenreihen überschreiten einen bestimmten Zeitraum nicht: sie sind nicht länger als beispielsweise 50 Jahre, weil sich das ökonomische Umfeld über einen solchen Zeitraum so dramatisch verändert hat, dass ältere Daten keine relevante Auskunft über die statistischen Eigenschaften von Risikofaktoren zum heutigen Zeitpunkt enthalten.

Das Modell repliziert alle verfügbaren Marktpreise möglichst genau. Verfügbare Marktpreise werden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Modellkalibrierung klassifiziert. Das Modell trifft Marktpreise in einer Genauigkeit, die von der Klassifizierung abhängt.

Aus dem Hinweis der DAV „Kalibrierung in inaktiven Marktsegmenten“ [27]

werden im Folgenden diejenigen Prinzipien und Kriterien wiedergegeben, die ein kalibrierter ESG in Marktverwerfungssegmenten erfüllt:

Diese Prinzipien werden ebenfalls von einem Kapitalmarktmodell für eine marktkonsistente Bewertung erfüllt und führen in jeder Marktsituation zu sinnvollen und nachvollziehbaren Ergebnissen. Anschließend werden diese Prinzipien erläutert und begründet.

Die marktkonsistente Bewertung und ihre Vorteile werden dabei nicht aufgegeben. Marktkonsistenz wird vielmehr so interpretiert, dass die Bewertungsannahmen den Informationen, die auf Preisen aktiver Marktsegmente beruhen, nicht widersprechen. Eine marktkonsistente Kalibrierung wird daher auf Basis von Daten aus aktiven Marktsegmenten und begründbaren, aber nicht beliebigen Modellannahmen durchgeführt. Hinsichtlich näherer Einzelheiten wird auf den Hinweis verwiesen.

Bei der Entwicklung der Prinzipien für die Kalibrierung von Kapitalmarktmodellen werden insbesondere die Anwendungsgebiete Embedded Value-Berechnungen, Pricing, Profit Testing, Risikokapitalberechnungen sowie die Entwicklung unter Solvency II berücksichtigt.

Prinzipien für die Kalibrierung von Kapitalmarktmodellen

I. Marktkonsistente Bewertung für aktive Marktsegmente (Mark-to-Market)

Das kalibrierte Kapitalmarktmodell repliziert beobachtbare Marktdaten aus aktiven Marktsegmenten, d.h. relevante Informationen aus aktiven Marktsegmenten werden nicht ignoriert. Beispiele hierfür sind Marktdaten aus aktiven Marktsegmenten von Aktien, kürzer laufenden Zinsinstrumenten und Volatilitäten von börsengehandelten Derivaten (vgl. Prinzip 8).

II. Marktnahe Bewertung gemäß einem besten Schätzwert für inaktive Marktsegmente (Mark-to-Model)

Für Marktdaten aus inaktiven Marktsegmenten werden geeignete Annahmen für einen besten Schätzwert zugrunde gelegt.

Dies betrifft sowohl Marktdaten aus dauerhaft inaktiven Marktsegmenten (beispielsweise lang laufende Zinsinstrumente oder mittel- bzw. langfristige Volatilitäten) als auch Marktdaten aus temporär inaktiven Marktsegmenten (z.B. bei Handelsunterbrechungen oder vorübergehender Illiquidität). Im letzteren Fall werden die Ursachen quantifiziert und die Marktdaten entsprechend modifiziert (vgl. Prinzip 8).

III. Arbitragefreiheit des gemeinsamen Modells gemäß der Prinzipien I und II

Das gemäß der Prinzipien I und II kalibrierte Kapitalmarktmodell ist arbitragefrei. Es steht insbesondere nicht im Widerspruch zu beobachtbaren Marktdaten aus aktiven Marktsegmenten (vgl. Prinzip 8).

IV. Konsistenz zu ökonomischen Rahmenbedingungen

Bei der Kalibrierung von Kapitalmarktmodellen ergeben sich Freiheitsgrade. Das resultierende Kapitalmarktmodell ist widerspruchsfrei zu gängigen ökonomischen Annahmen. Insbesondere werden die Annahmen für einen besten Schätzwert entsprechend gewählt (vgl. Prinzip 8).

V. Asymptotisches Verhalten bei konstanter Kapitalmarktentwicklung

Bei temporärer Inaktivität eines Marktsegments und der theoretischen Annahme, dass sich der Kapitalmarkt konstant seitwärts bewegt, konvergiert das Kapitalmarktmodell, das nach den Prinzipien I – IV kalibriert wurde, asymptotisch gegen ein Kapitalmarktmodell mit Stichtagskalibrierung (vgl. Prinzip 10).

VI. Stetigkeit der Bewertung

Unter Verwendung einer Mark-to-Model Bewertung gemäß den Prinzipien II und IV sind die verwendeten Annahmen beizubehalten, sofern keine evidenten Gründe für eine Änderung der Bewertungsansätze vorliegen (vgl. Prinzip 10).

VII. Transparenz

Die getroffenen Annahmen für die Kalibrierung des Kapitalmarktmodells werden transparent und nachvollziehbar begründet (vgl. Prinzip 4).

Erläuterungen zu den Prinzipien

Die Bewertung der Aktiv- und Passivseite erfolgt konsistent, d.h. auf Basis eines gemeinsamen Kapitalmarktmodells. Das bedeutet, dass die Bewertungsprinzipien für die Aktiv- und Passivseite identisch sind.

Für aktive Marktsegmente ergibt sich daher eine Bewertung der Assets auf Grundlage der eindeutig beobachtbaren Marktpreise. Bei nicht vorhandener bzw. eingeschränkter Handelbarkeit der Assets erfolgt die Bewertung konsistent zu den formulierten Prinzipien gemäß Mark-to-Model.

Die aufgestellten Prinzipien gelten generell und insbesondere unabhängig von der jeweiligen Kapitalmarktsituation. Im Allgemeinen werden Marktverwerfungen jedoch zu einer Ausweitung inaktiver Marktsegmente führen mit der Folge, dass Segmente, die zuvor gemäß Mark-to-Market bewertet wurden, nun ebenfalls Mark-to-Model bewertet werden. Die Anwendung der Prinzipien setzt daher neben der Definition eines besten Schätzwertes nachvollziehbare Kriterien voraus, wann ein inaktives Marktsegment vorliegt.

Erläuterung zu den Prinzipien I und II

Marktdaten werden, soweit diese in aktiven Marktsegmenten beobachtet werden können, für die Kalibrierung der verwendeten Kapitalmarktmodelle herangezogen. Für inaktive Marktsegmente wird eine Schätzung wesentlicher Einflussgrößen auf der Grundlage eines besten Schätzwertes vorgenommen.

Die Kalibrierung gemäß den Prinzipien I und II ist konsistent mit den von der Arbeitsgruppe „Reservierung von Garantieprodukten“ erarbeiteten Bewertungsprinzipien für hedgebare und nicht hedgebare Risiken; in Analogie zu den Prinzipien I und II erfolgt die Reservierung hedgebarer Risiken Mark-to-Market und die Reservierung nicht hedgebarer Risiken Mark-to-Model.

Erläuterung zu Prinzip III

Das gemäß der Prinzipien I und II kalibrierte Kapitalmarktmodell ist arbitragefrei. Nachfolgend ist ein Beispiel angeführt, in dem dieses Prinzip nicht erfüllt ist:

Die Zinskurve bis zum Jahr 20 sei beobachtbar und betrage flach 5%, ab dem Jahr 21 liegen keine beobachtbaren Marktdaten vor. Für Dauern ab 30 Jahren wird das langfristige Zinsniveau auf 3% geschätzt. Der Ansatz einer flachen Zinskurve ab dem Jahr 21 in Höhe von 3% wäre nicht arbitragefrei, da sich hieraus ein negativer 1-Jahres-Forwardzins im Jahr 20 ergibt (Voraussetzung ist, dass es in dem Modell möglich ist, Geld nicht anzulegen und unverzinst zu deponieren, d. h. Arbitrage durch Kassenhaltung). Hingegen führt die Verwendung einjähriger Forwards ab dem Jahr 21 in konstanter Höhe von 3% zu einer arbitragefreien Zinskurve, die langfristig gegen den Zielwert von 3% konvergiert.

Erläuterung zu Prinzip IV

Die unreflektierte Verwendung nicht belastbarer Marktdaten ist für die Kalibrierung von Kapitalmarktmodellen kritisch zu sehen. Sie führt zwangsläufig zu Bewertungseffekten, die nicht auf eine grundlegende Änderung des Marktumfeldes zurückzuführen sind, sondern vielmehr auf Stichtagseffekten (z. T. verstärkt durch spezifische Modelleigenschaften) beruhen. Erfolgt zudem eine Extrapolation dieser Daten (z.B. als Schätzwert für nicht beobachtbare Zinssätze für lange Laufzeiten), ergeben sich in kurzen Zeitabständen sehr hohe Bewertungsschwankungen, denen keine belastbaren und die Höhe der Effekte rechtfertigenden Beobachtungen zugrunde liegen. Insbesondere vor dem Hintergrund

eines in der Regel vierteljährlichen Berichtswesens erscheinen die beschriebenen Stichtageffekte für das Management, für die Aufsicht und für den Aktionär ungeeignet.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf die Gefahr der Prozyklizität und deren selbstverstärkende Wirkung, auf die in dem Hinweis „Kalibrierung in inaktiven Marktsegmenten“ nicht näher eingegangen wird.

Daher wird es aus aktuarieller Sicht vorgezogen, langfristige, makroökonomische Veränderungen in die Bewertung einfließen zu lassen. So stünde z.B. die Annahme eines Langfristzinssatzes von 0% im Euroraum für die Kalibrierung (jenseits beobachtbarer Marktdaten) im Widerspruch zum derzeitig erklärten Ziel der Europäischen Zentralbank, die Inflationsrate langfristig bei 2% zu halten und stünde damit im Widerspruch zu Prinzip IV.

Erläuterung zu Prinzip V

Prinzip V findet Anwendung bei der Kalibrierung temporär inaktiver Marktsegmente. Innerhalb der Freiheitsgrade, die sich aus Prinzip II ergeben, ist die Kapitalmarktkalibrierung in einem hypothetischen Szenario konstanter Kapitalmarktbedingungen, bei dem sich der Kapitalmarkt zukünftig seitwärts bewegt, unabhängig von der gewählten Kalibrierungsmethode für vorher identifizierte temporär inaktive Marktsegmente. In einer solchen hypothetischen Situation gleichen sich die Stichtagskalibrierungsmethode und die für das temporäre inaktive Marktsegment gewählte Kalibrierungsmethode von den Ergebnissen her im zeitlichen Verlauf an.

Fließen z.B. bzgl. eines inaktiven Marktsegments gemittelte implizite Volatilitäten in die Kalibrierung ein, so nimmt bei konstanter Weiterentwicklung der Volatilität der Mittelungseffekt ab. Nach angemessener Zeit gleicht der Mittelwert dem hypothetischen Stichtagswert.

Nicht im Einklang mit diesem Prinzip steht es, bei einem temporär inaktiven Marktsegment eine Volatilitäts-Quotierung zu einem beliebigen, aber fixierten Zeitpunkt aus der Zeit zu übernehmen, als der Markt noch aktiv war.

Erläuterung zu Prinzip VI

Die Forderung nach Bewertungsstetigkeit (analog zum HGB) ist grundlegend für einen Vergleich von Berechnungen (z.B. Unternehmensbewertung) im zeitlichen Verlauf. Die Annahmen zur Bestimmung des besten Schätzwertes gemäß Prinzip II sollen nur bei Vorliegen evidenter Gründe geändert werden (Vermeidung von Modellarbitrage).

Erläuterung zu Prinzip VII

Ganz entscheidend ist, dass die getroffenen Annahmen für die Kalibrierung des Kapitalmarktmodells nachvollziehbar begründet werden. Damit wird der geforderten Transparenz gegenüber der Aufsicht, dem Management oder dem Aktionär Rechnung getragen.

4.2 Validierung der ökonomischen Szenarien

4.2.1 Kontext

Zur Beurteilung der Güte von ökonomischen Szenariogeneratoren (ESGs) können zumindest drei Perspektiven eingenommen werden - eine

- ökonomische,
- prozessuale und
- statistische.

In der ökonomischen Perspektive kommt die ökonomische Relevanz des ESG zum Tragen. Hier spielen am Beispiel Interner Modelle im Rahmen von Solvabilität II oder des MCEV betrachtet, Fragen der Genauigkeit, der Robustheit im Zusammenhang mit dem Use-Test eine Rolle, da die Interessen aller wesentlichen Stakeholder (Anteilseigner, Ratingagenturen, BaFin, ...) berücksichtigt werden müssen. Diese ergebnisbezogene Sichtweise wird im Folgenden nicht eingenommen.

Für die prozessuale Sicht, welche insbesondere die nicht-funktionalen Aspekte eines ESG betrifft, wie etwa seine IT-Betriebsfähigkeit, Notfallplanung und Revisionierbarkeit wird auf Kapitel 5 verwiesen.

Die statistische Perspektive, die durch die Sicht des Modellierers charakterisiert ist, wird im Folgenden fokussiert.

Für marktkonsistente Szenariensätze existieren Marktstandards für Tests (vgl. Abschnitt 4.2.3). Als Minimumstandards werden die durch das CFO-Forum bestimmten Anforderungen an das risikoneutrale Maß gesehen, die sich aus den MCEV-Principles des CFO-Forums (2008) [3] ergeben. Diese marktüblichen Anforderungen zu Tests auf Marktkonsistenz bzw. Martingaleigenschaften werden im Folgenden dargelegt. Darüber hinaus können auch weiterführende Untersuchungen angestellt werden. Hierzu sind sowohl absolute als auch relative Gütevergleiche zu nennen.

Für real world Szenariensätze, also n Szenarien aus einer fixierten Kalibrierung, kann unter anderem auf Prinzipien des Back-Testings von Marktrisikomodellen zurückgegriffen werden. Dies gilt sowohl für die aufsichtsrechtlichen Anforderungen, siehe Solvabilitätsverordnung (2006) [14], als auch für die akademische Literatur, siehe Corradi, Swanson (2006) [15].

Zu beachten ist dabei, dass stets nur ein zusammengehöriger Satz von Szenarien hinsichtlich der Güte getestet werden kann. Einzelne real world Szenarien (auch Realisation oder Pfad genannt) können auf ihre Plausibilität hin untersucht werden.

Der Anwender formuliert ein Set von Kriterien für den Szenariosatz, die Gütekennzeichen im Hinblick auf die unternehmensspezifischen Anwendungen enthalten. Diese werden für jeden Szenariosatz getestet (vgl. Prinzip 4).

Ist ein Back-Testing nicht möglich, da beispielsweise keine „mechanische“ Kalibrierung auf vergangenheitsbezogenen Marktdaten erfolgt, so wird auf die Spezifikationstests, d.h. den Test von festgelegten Kriterien, zurückgegriffen.

Grundsätzlich ist auch eine Ausgliederung der Validierung und der dazugehörigen Dokumentation möglich. Die Verantwortung verbleibt aber immer beim jeweiligen Anwender bzw. Unternehmen (vgl. Prinzip 7).

Der Anwender bzw. das Unternehmen gewährleistet nicht nur, dass das Modell zur jeweiligen Anwendung passend ist, sondern auch, dass die Testverfahren im Unternehmenskontext verstanden und die Ergebnisse interpretiert und nachvollzogen werden können. Weiterhin werden die für die Ausgliederung gültigen Anforderungen eingehalten.

Die Möglichkeit der Ausgliederung der Validierung trägt dem Proportionalitätsprinzip insbesondere für kleinere Unternehmen Rechnung.

Eine Validierung wird für alle Szenariosätze durchgeführt, die in der Unternehmenssteuerung Anwendung finden, z.B. für die Szenariosätze zur Berechnung des MCEV und des SCR im Rahmen Interner Modelle. Validierungsstandards bestehen z.B. gemäß Artikel 124 der Richtlinie Solvabilität II.

4.2.2 Der Validierungsprozess

Nach jeder Kalibrierung und Szenariengenerierung wird im Hinblick auf den ESG ein Validierungsprozess durchgeführt (vgl. Prinzip 9).

Die Validierung eines ESG wird als Prozess verstanden. Ziel dabei ist es, an einer Stelle im Unternehmen die Freigabe des Szenariensatzes zu erwirken. Der Auswahlprozess eines ESG und die damit verbundene Dokumentation sind nicht Bestandteil des im Folgenden beschriebenen Prozesses.

Nachdem ein Kapitalmarktmodell durch die konkrete Wahl der Parameter spezifiziert worden ist, wird geprüft, ob dieses parametrisierte Kapitalmarktmodell *gute* Simulationen liefert. Der ESG wird mittels einer detaillierten statistischen Analyse der Ergebnisse validiert (siehe Abschnitt 4.2.3). Die Gründe dafür, dass ein Modell keine adäquaten Simulationen liefert, können sehr unterschiedlich sein, z.B.:

- fehlerhafte oder zu geringe Datenbasis für die Parameterschätzung
- für die jeweilige Fragestellung zu wenig differenzierte Modelle (1-Faktor-Modell, perfekte Korrelation)
- schlechte numerische Umsetzung (z.B. schlechte Zufallszahlen, starker Fehler in der Diskretisierung)
- Fehler in der EDV-technischen Implementierung (vgl. Abschnitt 5.3)

Grundsätzlich kann ein Modell den zugrunde liegenden Datensatz erklären, d.h. beobachtete Phänomene werden durch das Modell reproduziert. Ein Modell verfügt auch über die Möglichkeit, Phänomene zu simulieren, welche noch nicht beobachtet wurden, jedoch im Lichte der vorhandenen Information nicht unplausibel sind.

Im Hinblick auf die jeweilige Anwendung im Unternehmen werden wesentliche Phänomene, die nicht im Modell repräsentiert werden, beispielsweise in einem Kapitel zur Schwachstellen-Analyse dokumentiert. Für diese erfolgt dann ggf. eine deterministische

Analyse im Unternehmenskontext (z.B. Japan-Szenario, falls ein solches Szenario nicht generiert wurde).

Die Ergebnisse eines Modells sind in sich konsistent und ökonomisch plausibel . Beispiele im real world Kontext sind:

- Risiko-Return-Verhältnis: im Mittel müssen Investitionen in risikobehaftete Anlageklassen mehr Ertrag bringen als Investitionen in risikofreie Anlagen.
- Realistische zukünftige Zinsentwicklungen und Zinskurvenformen.

Im Folgenden wird der Validierungsprozess beschrieben.

Inputgrößen für einen Validierungsprozess sind:

- Simulierte Szenarien des parametrisierten ESG („Szenariensatz“)
- Benchmarks für die Durchführung der statistischen Tests:
 - Welche Größen werden getestet
(Beispiel real world Szenarien: Pfadweise Betrachtungen; Verteilungs-Kenngrößen wie Quantile, Schiefe, Kurtosis, etc.)
 - Welche Tests werden durchgeführt
(Beispiel marktkonsistenter Szenariensatz: Reproduktion von am Markt beobachtbaren Preisen und Volatilitäten, 1=1-Test, 1=1=1-Test⁹, etc.)
- Historische Daten: Historische Daten derjenigen Finanzmarkt-Größen, die für die statistischen Tests benötigt werden, soweit diese als repräsentativ für die künftige Entwicklung angesehen werden.
- Katalog von Kriterien

Im Validierungsprozess gibt es insbesondere folgende Aufgaben, für die jeweils Verantwortliche benannt werden:

1. Festlegung der Tests
2. Festlegung, welche Benchmarks für die statistischen Verfahren verwendet werden
3. Festlegung, welche historischen Daten bzw. Kalibrierungszielgrößen zur Validierung verwendet werden sollen
4. Bewertung und Dokumentation der Ergebnisse der Tests
5. Freigabe des Szenariensatzes.

⁹ Als 1=1=1 Test wird ein Test auf Arbitragefreiheit bezeichnet, bei dem während der Projektion die Assetklasse des Investments gewechselt wird

Folgende Grafik veranschaulicht einen Validierungsprozess¹⁰:

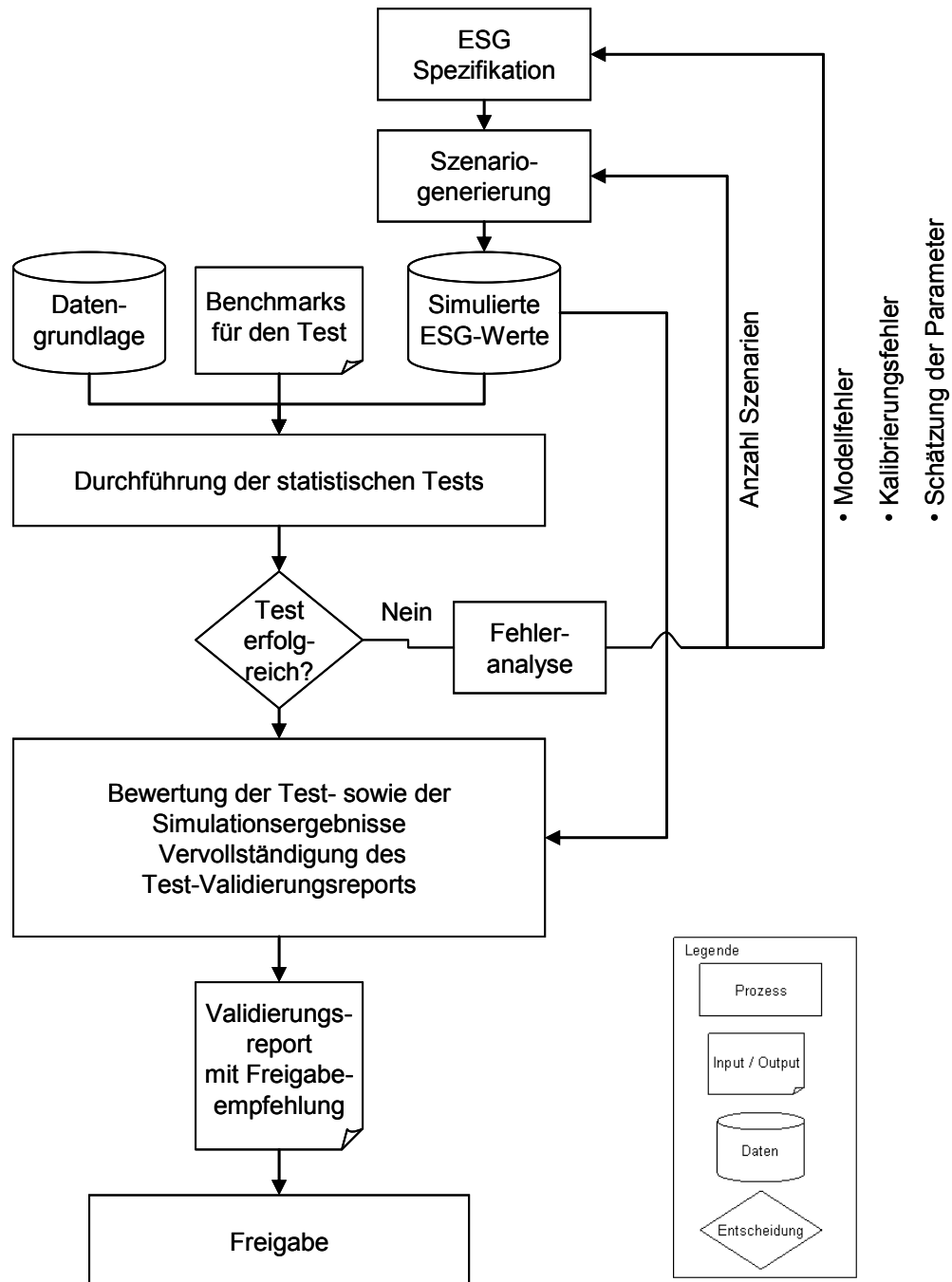


Abb. 2: Validierungsprozess

¹⁰ Zusätzliche Anforderungen können sich aus dem Rundschreiben R 2 /2017 VA an die Funktionstrennung ergeben.

Unter dem Aspekt der Funktionstrennung i.S.d. Rundschreibens 2/2017 (MaGo VA) (2017) [16] wird in diesem Kontext grundsätzlich eine organisatorische Trennung des Kalibrierungs- und Szenariogenerierungsprozesses einerseits sowie des Validierungsprozesses und der Freigabeentscheidung andererseits sichergestellt. Hiervon kann nur bei kleinen und mittleren Unternehmen unter Berücksichtigung des Proportionalitätsprinzips abgewichen werden.

Typischerweise erfolgt die Freigabe und Validierung durch eine unabhängige Risikoüberwachungsfunktion (CRO, Risikokomitee,...), welche dann auch die Haftung übernimmt. Dahingegen wird die Kalibrierung meist von der Risikoübernahme durchgeführt, um deren Nähe zu den Märkten auszunutzen. In jedem Fall wird die Freigabe auch für kleinere oder mittlere Unternehmen durch eine unabhängige risikoüberwachende Funktion vorgenommen. Entsprechend der ökonomischen Bedeutung des ESGs liegt die Verantwortung für die Freigabe zumindest bei einem Abteilungsleiter. Bei Versicherungsgruppen erfolgt die Freigabe typischerweise durch die Gruppenspitze, da ESGs im Regelfall alle Töchter betreffen.

4.2.3 Test

Im Hinblick auf die Methodik bei einem Test von ökonomischen Szenariensätzen wird zwischen dem Szenariensatz selbst und der Kalibrierungsgüte des Generators unterschieden(vgl. Prinzip 7).

4.2.3.1 Standard-Tests

Bei einem real world Szenariensatz werden üblicherweise quantitative Tests auf Verteilungsebene (Kenngrößen wie Volatilitäten, spezielle Quantile, Schiefe, Kurtosis, etc.) durchgeführt und Risikoprämien der Assetklassen analysiert. Auf qualitativer Ebene wird häufig im Hinblick auf Plausibilität untersucht, ob der Szenariensatz ökonomisch plausible und für die Unternehmensmodellierung relevante Eigenschaften aufweist (z.B. inverse Zinskurven lassen niedrigere Aktienreturns in den Folgejahren erwarten) und mit welcher Häufigkeit bestimmte Charakteristika in dem Szenariensatz repräsentiert sind (z.B. inverse oder bucklige Zinskurven, Niedrigzinsszenarien). Für weitergehende statistische Tests insbesondere auch im Vergleich mit historischen Daten siehe Abschnitt 4.2.3.2.

Ein real world Modell erzeugt neben neuen und plausiblen Phänomenen auch relevante Phänomene in angemessener Häufigkeit, die in der Vergangenheit beobachtbar waren (vgl. Prinzip 8).

Tests von Real World Szenariensätzen im Hinblick auf die Konsistenz mit historischen Daten werden häufig durch Anpassungstests (z.B. Kolmogoroff/Smirnov) durchgeführt (Diebold, Gunther and Tay (1998) [17]; Diebold, Hahn and Tay (1999) [18]; Diebold, Tay and Wallis (1998) [19]). Für eine Übersicht weiterer möglicher statistischer Tests siehe z.B. Corradi, Swanson - Predictive Density Evaluation - (2006) [15].

Die im Folgenden dargestellten Tests beziehen sich auf eine Überprüfung eines Szenariensatzes im marktkonsistenten Kontext¹¹, d.h. der Szenarienfehler bestehend aus Modellfehler, Kalibrierungsfehler und Simulationsfehler wird nicht getrennt gemessen.

¹¹ Bei Annahmen zu Korrelationen muss zumeist auf historische Daten, bzw. ökonomisch plausible Annahmen zurückgegriffen werden, da kein liquider Markt für Korrelationsderivate existiert

Für einen Szenariensatz im marktkonsistenten Kontext wird die Konsistenz mit Marktpreisen und Annahmen getestet. Dazu sollten mindestens die folgenden vier Tests durchgeführt werden:

1. Test des Szenariensatzes im Hinblick auf seine Martingaleigenschaft: "Martingalttest" oder " $1=1$ Test"
2. Test der Konsistenz des Szenariensatzes zur initialen Marktzinskurve
3. Test der Konsistenz des Szenariensatzes zu Marktpreisen für Derivate („implizite Volatilitäten")
4. Test der Konsistenz der Korrelation zwischen den Assetklassen im Szenariensatz mit den Annahmen

(vgl. Prinzip 9).

Die vier Tests adressieren zwei für marktkonsistente Szenariensätze spezifische Themenkomplexe:

- Test 1 überprüft, inwieweit der Szenariensatz arbitragefrei ist
- Tests 2, 3 und 4 prüfen, ob durch den Szenariensatz Marktpreise (bzw. Kalibrierungsannahmen) von Derivaten repliziert werden können.

Wichtig für einen Szenarientest ist, dass neben der Dokumentation der Testergebnisse selbst, bereits im Vorfeld die Datenherkunft und die Werte der Zielgrößen (Anfangszinskurve, Volatilitätsannahmen etc.) dokumentiert werden. Die ökonomische Erfahrung zeigt, dass unter Berücksichtigung der ökonomischen Signifikanz der Ergebnisse die Verwendung statistischer Signifikanzgrößen, die größer als die üblicherweise in der Statistik gesetzten 1%- bzw. 5%-Grenzen sind, durchaus adäquat sein kann. Generell werden Fehlergrenzen im unternehmensindividuellen Kontext im Hinblick auf die angestrebte Genauigkeit bei der Bestimmung der Zielgröße (z.B. MCEV) festgesetzt. Dazu können ggf. auch Fehlerabschätzungen der Zielgröße dienen.

Die nachfolgenden Gütetests werden jeweils in der Währung des Investors durchgeführt. Dies bedeutet, dass Veränderungen der Währungskurse in den Szenariensätzen bei der Berechnung der Gesamterträge berücksichtigt werden.

4.2.3.1.1 Martingalttest

Von einem marktkonsistenten, für die Bewertung von Cashflows im Internen Modell geeigneten, Szenariensatz wird verlangt, dass dieser arbitragefrei ist, d.h. dass es keine Investmentstrategie gibt, die einen risikofreien Ertrag über den risikofreien Zins hinaus generiert. Im Fall einer risikoneutralen Bewertung bedeutet dies insbesondere, dass alle Assetklassen im Mittel den risikofreien Zins erbringen müssen. In der Praxis wird dies dadurch überprüft, dass der sog. "Martingalttest" durchgeführt wird. Dieser Test verlangt, dass für alle Assetklassen und alle Projektionszeitpunkte $t = 1, 2 \dots T$ der Erwartungswert der diskontierten Cashflows von einem in $t=0$ investierten Euro wiederum 1 Euro beträgt. Daher wird dieser Test auch " $1=1$ "-Test genannt. In der Praxis bedeutet dies, dass die in einzelnen Assetklassen (und damit auch die für die gesamte Kapitalallokation) im Modell projizierten und diskontierten Cashflows den anfänglichen Marktwerten der Kapitalanlage entsprechen. Um den Test gegen Neu- und Deinvestments zu neutralisieren, wird dieser

üblicherweise nicht auf absolute Werte, sondern stets auf Gesamtertragsbasis (Total Return) durchgeführt.

Ein auf absoluten Werten im Unternehmensmodell durchgeführter Test wird dagegen um Zahlungsströme neutralisiert und als "Leakage Test" bezeichnet.

Aus Gründen der Laufzeiteffizienz wird im Rahmen eines Internen Modells häufig ein Szenariensatz mit einer beschränkten Anzahl von Szenarien (üblicherweise 1.000 bis 5.000) verwendet. Die statistischen Eigenschaften werden in Abschnitt 3.3.3.3 erläutert.

Im Vergleich zu der benötigten Anzahl von Szenarien, um speziell für Assetklassen mit hoher Volatilitätsannahme (z.B. Aktien) eine Konvergenz der Ergebnisse ohne messbaren Simulationsfehler zu erreichen, ist jene Anzahl relativ gering. Neben einem Test auf Ebene der einzelnen Assetklasse wird sinnvollerweise ebenfalls ein Test mit unternehmensspezifischer Portfoliozusammensetzung vorgenommen. Falls der Simulationsfehler zu hoch ist (d.h. der Szenariensatz nicht als arbitragefrei gelten kann), wird ggf. die Anzahl der generierten Szenarien innerhalb des Szenariensatzes erhöht.

Die Ergebnisse des Tests sollten symmetrisch sein, d.h. negative und positive Abweichungen von dem "1=1"-Wert gleichmäßig auftreten. Falls dies nicht der Fall ist, kann dies ein Hinweis auf einen strukturellen Fehler im Szenariogenerator sein, der sich durch Erhöhung der Szenarienzahl nicht vermindern lässt und separat untersucht wird.

4.2.3.1.2 Konsistenz der Szenarien zur initialen Zinskurve

Die Szenarien eines risikoneutralen ESG sind üblicherweise derart generiert, dass die Diskontfaktoren des jeweiligen Währungsraums äquivalent zum inversen jeweiligen Cash Return sind¹². Ebenfalls ist für alle Projektionszeitpunkte der mittlere Diskontfaktor konsistent zur initialen Zinskurve.

Die Initialzinskurve stammt zumeist von einem Datenanbieter (Bloomberg, Reuters) und wird dokumentiert. Eine Abweichung der modellierten Initialzinskurve von der vorgegebenen Kurve ist auf einen Modellfehler oder Kalibrierungsfehler zurückzuführen, wohingegen Abweichungen der mittleren Cash Returns und der Zero Bond Returns von der impliziten Forwardkurve Simulationsfehler darstellen.

4.2.3.1.3 Konsistenz des Szenariensatzes zu Marktpreisen für Derivate („implizite Volatilitäten")

Dieser Teil der Tests befasst sich mit der Replikation von Marktpreisen für Derivate auf Basis der Szenarien. Da die Marktpreise für die zur Kalibrierung des Szenariogenerators verwendeten Derivate üblicherweise als implizite Volatilitäten quotiert werden, ist die Vorgehensweise dazu wie folgt:

Für am Markt gehandelte Derivate, die einen zu dem mittels der Szenarien zu bewertenden Cashflow ähnlichen Charakter aufweisen, werden aus den Szenarien Preise gerechnet. Dazu werden die Cashflows der zu prüfenden Derivate in allen Szenarien über alle Projektionszeitpunkte bestimmt und diskontiert. Der Mittelwert der diskontierten Cashflows entspricht im Kontext der risikoneutralen Bewertung dem Preis des Derivats

¹² Je nach Bewertungsmaß im Szenariogenerator kann dies auch abweichen – dann ist statt des Cash Returns der jeweilige Modellnumeraire (z.B. 30-Jahres ZeroBond Return etc.) zu verwenden.

und dieser Preis kann analytisch in eine äquivalente implizite Volatilität umgerechnet und mit den impliziten Volatilitäten am Markt verglichen werden.

Bemerkung: Die Bestimmung impliziter Zinsvolatilitäten erfolgte oft anhand der Black-Formel für die Swaption-Bewertung. Bei sehr niedrigen bzw. negativen Zinsen können die impliziten Black-Volatilitäten jedoch numerisch instabil werden bzw. existieren ggf. gar nicht. Anstatt der impliziten Black-Volatilitäten werden daher zunehmend normale Volatilitäten als implizite Volatilitäten verwendet. Bei diesen Volatilitäten, auch Basispunktvolatilitäten genannt, handelt es sich um eine absolute statt einer relativen Größe. Deshalb eignet sich diese *Konvention* dazu, numerisch stabile implizite Volatilitäten auch im Kontext von niedrigen bzw. negativen Zinsen zu erhalten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Wahl einer *Konvention für die impliziten Volatilitäten* nichts an den *Preisen* der Zinsderivate ändert.

Zunächst werden die Volatilitätsflächen der zur Kalibrierung verwendeten Assets getestet. Je nach den im Internen Modell projizierten Kapitalanlagen und den zu bewertenden Cashflows im Unternehmensmodell sind dies zumeist:

- Volatilitätsflächen von Swaptions
- Volatilitätsflächen von Aktienindizes und Immobilien
- ggf. Fremdwährungen

Oftmals sind für Kapitalanlagen keine Derivate am Markt verfügbar. Beispiele hierfür sind Immobilien, aber auch zahlreiche Aktienoptionen. Gleichwohl werden für diese Anlagen Volatilitätsannahmen in der Kalibrierung vorgegeben und auch auf den Szenarien geprüft. Zumindest werden Plausibilisierungen auch dann vorgenommen, wenn keine Marktvolatilitäten vorliegen.

4.2.3.1.4 Konsistenz der Korrelation zwischen den Assetklassen im Szenariensatz mit den Annahmen

Korrelationsziele werden häufig in Form von historischen Korrelationen zwischen Assetklassen dem Modell vorgegeben, da eine verlässliche Datenbasis für Derivate auf Korrelationen nur sehr begrenzt zur Verfügung steht. Je nach Kapitalanlagen im Unternehmensmodell sind insbesondere die Korrelationen zwischen Bonds und Aktien sowie zwischen Aktien und Immobilien die wesentlichen zu prüfenden Szenariokorrelationen.

4.2.3.2 Weitere Tests

Im Rahmen der marktkonsistenten Prüfung von Szenarien kann als weiterer Test der 1=1=1 Test durchgeführt werden, bei dem während der Projektion der Cashflows eine Umschichtung zwischen Assetklassen vorgenommen wird. Dies ist insbesondere bei solchen Investmentstrategien im Internen Modell sinnvoll, die eine Umschichtungsstrategie (ggf. auch pfadweise) beinhalten.

5. Anwendungsbezogene Anforderungen an ökonomische Szenariogeneratoren

Zur Klärung der Frage, welche Bedingungen bei der Anwendung und Implementierung eines Kapitalmarktmodells notwendigerweise eingehalten werden, wird zunächst klar gestellt, in welcher Form ein Kapitalmarktmodell Eingang in die Abläufe eines Versicherungsunternehmens findet. Dazu werden die Begriffe Kapitalmarktmodellierung (oder Kapitalmarktmodell), Economic Scenario Generator (ESG) und Kapitalmarktszenarien unterschieden. Unter dem Begriff Kapitalmarktmodell wird das theoretisch und empirisch fundierte Modell zur Fortschreibung von Kapitalmarktgrößen verstanden. Der ESG stellt im Sinne der obigen Definition zur Implementierung selbst eine Implementierung des Kapitalmarktmodells in eine Software dar. Die Kapitalmarktszenarien können schließlich als Ausgabe bzw. Resultat eines ESG gesehen werden.

Durch die Nutzung von Kapitalmarktszenarien, also Verläufen von Kapitalmarktgrößen in der Regel über viele Jahre und Simulationspfade, zur Erstellung von Kennzahlenberechnungen im Versicherungsunternehmen erreicht man die nächste Implementierungsebene. Dies ist die Implementierungsebene, die in den folgenden Abschnitten näher beleuchtet wird. Bei der Einbindung der Kapitalmarktszenarien und damit indirekt des Kapitalmarktmodells in die Unternehmensabläufe und die Entscheidungsprozesse sind schon definitionsgemäß verschiedene Bedingungen und Regeln zu beachten. Im konkreten Fall erfolgt die Implementierung unter anderem unter Beachtung der Anforderungen aus dem Use-Test und der Dokumentationspflichten im Rahmen von Solvabilität II.

Voraussetzung zur Beurteilung der angemessenen Implementierung ist zunächst die Beschreibung der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten von Kapitalmarktszenarien. Inwieweit ein ESG als angemessen angesehen werden kann, lässt sich nicht unabhängig vom Anwendungskontext entscheiden. Der folgende Abschnitt 5.1 gibt eine Übersicht zu möglichen Anwendungen von Kapitalmarktszenarien bei Versicherungsunternehmen.

Da wenige der Anwendungen völlig ohne Annahmen zum Verhalten des Managements in Abhängigkeit von vorherrschenden ökonomischen Rahmenbedingungen und Kapitalmarktbedingungen auskommen, wird dem Zusammenspiel von Managementregeln und Kapitalmarktszenarien ein weiterer Abschnitt gewidmet. In Abschnitt 5.2 wird insbesondere auch der Begriff der Managementregel präzisiert und ein Überblick zu typischen Managementregeln und ihre Verbindung zu den Kapitalmarktszenarien gegeben.

Schließlich können die Implementierungsfragen bei Nutzung eines ESG auf die Implementierung mittels mehrerer ESGs, die ein Versicherungsunternehmen für verschiedene Anwendungen nutzt, ausgeweitet werden. In den meisten Unternehmen sind sowohl Fragestellungen im real world-Kontext als auch Bewertungsfragen zu analysieren. Dies bedingt die Verwendung unterschiedlicher Szenariogeneratoren bzw. die Verwendung unterschiedlicher Kalibrierungen eines Szenariogenerators. Da die Unternehmensmodelle dahingegen universell verwendet werden, wird Kompatibilität mit allen verwendeten Szenariogeneratoren und Kalibrierungen gewährleistet. Weiterhin ist es denkbar, dass zur Erzeugung der Verläufe von unterschiedlichen Kapitalmarktgrößen auch unterschiedliche Szenariogeneratoren genutzt werden, so dass die konsistente Kombination der verschiedenen Teilmodelle sichergestellt wird. Das Problem ist insbesondere von praktischer Bedeutung, wenn am Markt nur wenige ESG-Anbieter agieren, deren Modelle zudem nicht alle um beliebige Kapitalmarktgrößen bzw. sonstige Risikotreiber zu erweitern sind. Zudem kommt neben der Nutzung von zugekauften Szenariogeneratoren bzw.

Szenarien auch der Eigenentwicklung eines ESG eine hohe Bedeutung zu, insbesondere auch in Kombination mit gekauften Szenarien und Szenariogeneratoren oder beim Zusammenspiel mehrerer selbst entwickelter Szenariogeneratoren.

Der Abschnitt 5.3 behandelt deshalb die angesprochenen und weitere potenzielle Fehlermöglichkeiten und operationalen Risiken bei der Implementierung und zeigt missbräuchliche Nutzungen von Kapitalmarktmodellen auf.

5.1 Ausgewählte Anwendungen

Die Anwendung eines (stochastischen) integrierten Unternehmensmodells wird häufig als Asset-Liability-Management (ALM) bezeichnet. Ein wesentlicher Aspekt beim Einsatz interner Modelle im Versicherungsunternehmen im Kontext von Solvabilität II ist die häufig als *Use-Test* bezeichnete Forderung, dass die Ergebnisse des internen Modells Eingang in die Entscheidungsprozesse im Unternehmen finden müssen. Der Use-Test impliziert, dass der ESG als Teil des internen Modells in möglichst konsistenter Weise in den Anwendungen zu berücksichtigen ist. Prinzipiell gibt es kaum eine Anwendung interner Modelle, die ohne ESG auskommt, da auch rein passivseitige Auswertungen oftmals Informationen über Zinssätze, Inflation und Wechselkurse verarbeiten.

Unterschiedliche Anwendungen stellen hier unterschiedliche Anforderungen. In diesem Abschnitt werden die Anwendungen hinsichtlich ihrer Implikationen für den ESG diskutiert. Die Liste der Anwendungen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und gibt nur den aktuellen Sachstand wieder.

Es werden folgende Anwendungen unterschieden, und zwar zunächst diejenigen, die

- entweder (stochastische) Zahlungsströme zu einem Stichtag bewerten oder
- Bestands- und Erfolgsgrößen auf einen zukünftigen Zeitpunkt projizieren,

sowie ferner solche, die beide Aspekte umfassen. Es wird dazu zunächst auf die risikoneutrale und die real world-Kalibrierung des ökonomischen Szenariogenerators eingegangen.

Wie im Prinzip 8 erläutert, ist zwischen dem risikoneutralen und real world-Wahrscheinlichkeitsmaß zu unterscheiden. Die Entscheidung für das jeweilige Wahrscheinlichkeitsmaß und die Modellwahl selbst richtet sich nach der zu beantwortenden Fragestellung.

In der real world-Projektion werden beispielsweise Aufgabenstellungen und Fragen wie

- Liquiditätsprojektion und -analyse
- Neugeschäftsmodellierung
- Analyse der Unternehmensplanung
- Stabilität der Erträge über die Zeit
- Dividendenplanung
- Bilanzprojektion

- Analyse alternativer Managementregeln
- Risikoanalyse von Ruin und Aktionärserschüssen
- Effizienter Rand alternativer Investmentstrategien
- Optimierung von Risiko und Ertrag

beantwortet. Sollen dagegen komplexe Optionen (zu vergangenen oder zukünftigen Stichtagen) bewertet werden, so wird der risikoneutrale Ansatz gewählt. Fragestellungen aus diesem Kontext können neben der Berechnung eines Wertes selbst beispielsweise

- Sensitivitätsberechnung des Market-Consistent Embedded Value (MCEV)¹³
- MCEV-Optimierung im Hinblick auf das Minimum des Zeitwerts der Versicherungsnehmer-Optionen und -Garantien sowie Maximierung des Wertes der Aktionärsdividenden
- Limitierung des aufsichtsrechtlich geforderten Risikokapitals

sein. Die Modellierungswelten unterscheiden sich grundsätzlich in der Wahl der angemessenen Modelle selbst – nicht jedes Zinsmodell oder Aktienmodell ist z.B. sowohl für real world- als auch risikoneutrale Projektionen geeignet, selbst wenn eine neue Kalibrierung erfolgt. Ebenso sind für die Berechnung von *einfachen* Aktienoptionswerten keine *Fat Tails* oder Downside-Korrelationen der Aktienrenditen zwingend notwendig, wohingegen diese in real world-Risikomodellen essentiell erscheinen (vgl. Prinzip 1).

Neben der Modellwahl an sich unterscheidet man weiterhin die Kalibrierung des Modells: Im risikoneutralen, marktkonsistenten Kontext ist in der Modellkalibrierung die Arbitragefreiheit und die möglichst exakte Replikation von Marktpreisen der für die Kalibrierung ausgewählten Optionen die Zielgröße. Die resultierende Verteilung der Zinsen, Renditen von Assetklassen usw. wird in der Modellkalibrierung nicht betrachtet und ist im Ergebnis daher auch nicht sinnvoll interpretierbar. Dagegen stehen in der realistischen Modellwelt explizit die Verteilungen der Zinsen und Renditen, die Betrachtung von Quantilen der Wahrscheinlichkeitsverteilung, die Risikoprämien von Kapitalanlageklassen, eine möglichst breite Abbildung von Zinskurvenformen (normal, invers, bucklig) und die Repräsentation der in der Zukunft als möglich angesehenen Verläufe im Vordergrund von Modellwahl und Kalibrierung. Bekannte, fundamentale Zusammenhänge (Beispiel: Inversen Zinskurven folgt mit erhöhter Wahrscheinlichkeit eine Rezession mit sinkenden Aktienrenditen.), die für die jeweilige Fragestellung von Relevanz sind, werden daher von dem ESG geeignet repräsentiert.

Je nach Anwendungskontext wird empfohlen, dass ein geeigneter ESG (Modell) ausgewählt und die adäquate Kalibrierung vorgenommen wird. Für Bewertungsfragen ist das Primärziel für ESG und Kalibrierung eine möglichst exakte Replikation von Marktpreisen. Es wird darauf hingewiesen, dass für Fragestellungen im real world-Kontext ökonomisch relevante Zusammenhänge geeignet repräsentiert werden müssen, und die resultierende Verteilung realitätsnah sein sollte (vgl. Prinzip 8).

¹³ Vgl. CFO-Forum (2009) [5] zur Definition des MCEV.

Die folgenden Anwendungen werden hinsichtlich der speziellen Anforderungen, die sie an den ESG stellen, diskutiert:

Berechnung des Embedded Value / Economic Capital

Als Embedded Value wird der Unternehmenswert eines Versicherungsunternehmens bezeichnet, der sich aus der Abwicklung des vorhandenen Bestandes ("Bestandswert") ergibt. Traditionell erfolgt die Berechnung des Embedded Value über eine Projektion der künftigen Erträge und Diskontieren auf den Bewertungszeitpunkt mit den jeweiligen Kapitalkosten bzw. dem risikofreien Zins zuzüglich einer angenommenen Risikoprämie. Um die ökonomischen Kosten der in den Produkten enthaltenen Optionen und Garantien explizit im Unternehmenswert berücksichtigen zu können, wird eine stochastische Berechnung in einem Unternehmensmodell durchgeführt. Für Produktkomponenten, die ähnlich zu am Markt gehandelten Derivaten sind, kann der Preis konsistent zu Marktpreisen gemessen (MCEV-Ansatz) oder alternativ über einen unternehmensindividuellen Ansatz bewertet werden (EEV-Ansatz). Es wird angeregt, dass für diejenigen Produktkomponenten, für die keine Marktpreise verfügbar sind, auch in einem stochastischen Modell eine Bewertung über einen Risikoprämienansatz erfolgen sollte. Für die Berechnung des MCEV müssen daher marktkonsistente Szenarien verwendet werden, um eine Bewertung im Einklang mit am Markt gehandelten Preisen für die in den Produkten eingebetteten Derivate zu gewährleisten. Im Hinblick auf die in den traditionellen Produkten der Lebensversicherung enthaltenen Zinsgarantien und die Kapitalanlagestruktur von Lebensversicherern sind dies insbesondere die Marktpreise von Swaptions, Aktienoptionen und eventuell Kreditderivaten.

Bei einer Anwendung des stochastischen Unternehmensmodells zur Festlegung und Messung des notwendigen Eigenkapitals (Economic Capital) wird ein Stress der Risikotreiber im stochastischen Modell angenommen und das benötigte Eigenkapital für eine Bedeckung auf vorab spezifiziertem Quantilsniveau (z.B. 99.97%) bestimmt. Häufig ergibt sich dieses Quantilsniveau als Ein-Jahres Insolvenzwahrscheinlichkeit für das vom Unternehmen angestrebte Rating. Im Prinzip erfordert die Festlegung des notwendigen Eigenkapitals eine Berechnung im Rahmen der "Stochastik in der Stochastik". Unter Verwendung eines real world-Kapitalmarktmodells erfolgt eine – zumeist einjährige – Projektion in die Zukunft und zu diesem Zeitpunkt die – marktkonsistente, stochastische – Messung des Eigenkapitals in allen Pfaden. Das benötigte Eigenkapital zur Solvenzbedeckung ergibt sich auf dem Quantilsniveau der stochastischen Verteilung des Unternehmenswertes. Da dies in der Praxis auch unter Zuhilfenahme von mathematisch anspruchsvollen Ansätzen wie weighted Monte Carlo¹⁴, dünne Gitter¹⁵, etc. nicht in akzeptabler Berechnungszeit darstellbar ist, wird meist ein vereinfachter Ansatz gewählt. Dazu werden die dem vorgegebenen Quantilsniveau entsprechenden Werte der Risikotreiber (im real world-Kontext) als Ausgangspunkt für das stochastische marktkonsistente Kapitalmarktmodell genommen. Die Berücksichtigung von Korrelationseffekten zwischen den Risikotreibern erfolgt dabei nicht implizit innerhalb des Kapitalmarktmodells sondern erst auf Ergebnisebene. Als Alternativkonzept findet in der letzten Zeit häufig ein Replicating Portfolio Ansatz Verwendung. Dazu wird eine Approximation der wertbestimmenden Größen im Unternehmensmodell (z.B. Cashflows, häufig auch

¹⁴ Siehe z.B. Glasserman (2003) [20]

¹⁵ Siehe z.B. Zenger et al (1991) [21]

aggregierte Größen) durch ein Portfolio aus analytisch zu bewertenden Kapitalmarktprodukten vorgenommen. Über die Berechnung der Wertänderung dieses Portfolios kann die Bestimmung des Unternehmenswertes auch in den zahlreichen stochastischen Kapitalmarktpfaden effizient erfolgen und so das Problem der "Stochastik in der Stochastik" umgangen werden. Für die anschließende Bewertung bzw. die Ableitung des Replicating Portfolios sind weiterhin marktkonsistente Szenariensätze notwendig. Bei der Vorgehensweise mit stochastischer marktkonsistenter Bewertung auf dem angestrebten Quantilsniveau müssen in der Kalibrierung des ESG Annahmen hinsichtlich der Preise von Derivaten auf dem Quantilsniveau getroffen werden. Im strengen Sinne kann daher nicht von einer marktkonsistenten, sondern nur von einer annahmenkonsistenten Bewertung gesprochen werden (vgl. auch den Ergebnisbericht „Proxy-Modelle für die Risikokapitalberechnung“ des Ausschusses Investment).

Wertorientierte Unternehmenssteuerung

Stochastische Kapitalmarktmodelle finden ferner Einsatz in der wertorientierten Unternehmenssteuerung. Eine Wertmessung kann einerseits auf einer absoluten Basis (z.B.: Änderung von Komponenten des MCEV über den betrachteten Zeitraum) oder auf relativer Basis (z.B. RoRaC¹⁶) erfolgen. Eine absolute Betrachtung erfolgt in der Praxis zumeist eher in der Personenversicherung, während eine relative, eher am Periodenerfolg orientierte Betrachtung in der Sachversicherung vorherrscht. Die Wertänderung wird dabei meist mittels stochastischer Berechnungen im Unternehmensmodell unter Berücksichtigung des benötigten ökonomischen Eigenkapitals vorgenommen. Bei einer absoluten Wertmessung kann relativ einfach der Wertbeitrag auf die einzelnen strategischen Einheiten herunter gebrochen werden. Beispielsweise kann bei einer Wertbeitragsmessung der Erfolgsbeitrag von strategischer Kapitalanlage-Allokation, taktischer Allokation, Neugeschäft, Bestandsabwicklung etc. getrennt gemessen und den einzelnen Einheiten zugeordnet werden.

Zur Messung des jeweiligen Erfolgsbeitrags ist das Unternehmensmodell mit Sätzen von Kapitalmarktszenarien zu versorgen, die die jeweiligen Werttreiber in geeignetem Detaillierungsgrad darstellen und die jeweiligen Risiken berücksichtigen, denen ökonomisches Kapital angemessen zugeordnet wird. Zur Messung der Wertänderung erfolgt dazu eine marktkonsistente Kalibrierung des Kapitalmarktmodells.

In der strategischen Planung wird ebenfalls häufig ein stochastisches Unternehmensmodell eingesetzt. Dabei werden die Planungsentscheidungen des Managements im stochastischen Kontext analysiert, Entscheidungskonsequenzen aufgezeigt, kritische Entwicklungen identifiziert und ggf. die Planung von Gegenmaßnahmen vorangetrieben. Die Anforderungen an einen ESG im Sinne eines ökonomischen Szenariogenerators sind dabei häufig weitergehender Art als reine Kapitalmarktgrößen. Um beispielsweise die Absatzpotentiale zu planen, sind Nachfragefunktionen, ökonomische Umfeldentwicklung, Sparquote etc. zu beachten. Insgesamt stellt der Szenariogenerator für den Einsatz in der strategischen Planung eine realistische Abbildung (Kalibrierung) der Ökonomieentwicklung bereit. Zur Berechnung der Planungszielgröße im Sinne einer wertorientierten Steuerung ist ggf.

¹⁶ Return on risk adjusted capital

im MCEV Kontext wiederum eine marktkonsistente Unternehmensbewertung notwendig.

Strategische Asset Allocation (SAA)

Bei der SAA geht es um die Auswahl einer Kapitalanlagestrategie, die auf die Risiko- und Ertragsziele des Unternehmens abgestimmt ist. Für diese Anwendung ist es daher besonders wichtig, dass das Risiko-Rendite-Verhältnis verschiedener Assetklassen plausibel ist. Im Vergleich dazu kann für die Limitierung des Risikokapitalbedarfs für einzelne Risiken ein unausgewogenes Risiko-Rendite-Verhältnis in Kauf genommen werden. Die SAA stellt damit andere Anforderungen an den ESG als die Risikokapitalberechnung für ein gegebenes Portfolio.

Für die SAA weist eine Assetklasse mit einer höheren mittleren Rendite generell eine höhere Volatilität bzw. ein höheres Verlustpotential auf. Die Risikoprämie ist also im real world-Kontext positiv. Ist dies im Einzelfall nicht gegeben, so werden die Ergebnisse der Optimierung entsprechend vorsichtig interpretiert. Die Ausnutzung von Arbitrage durch das Modell wird in jedem Fall verhindert.

Finanzierbarkeitsnachweis der langfristigen Garantien

Im Rahmen des regelmäßig zu erbringenden Finanzierbarkeitsnachweises wird mit einer prospektiven Betrachtung über den Ein-Jahreshorizont die Wahrscheinlichkeit und Höhe einer ökonomischen Unterdeckung analysiert. Aufgrund des prospektiven Charakters der Analyse und der notwendigen Bewertungen der Verpflichtungen unter der konservativen Annahme vollkommen rational handelnder Versicherungsnehmer wird der Finanzierbarkeitsnachweis mit einem stochastischen Modell unter Verwendung von real world-kalibrierten Kapitalmarktszenarien vorgenommen.

Szenarioanalysen und Stresstests

Szenarioanalysen und Stresstests erfordern zunächst kein stochastisches Modell. Szenarien werden als reale Szenarien häufig auf Basis historischer Ereignisse (z.B. Kapitalmarktkrise 2008, Europäische Währungskrise 1993, etc.) oder auf Basis zukünftiger Erwartungen definiert. Zudem werden häufig generische Szenarien getestet (z.B. BaFin-Stresstest). Ziel ist es, Aussagen über die Wirkung der Szenarien auf wichtige Bestands- und Erfolgsgrößen (Eigenkapital, Jahresüberschuss, Eigenmittel) zu erhalten. Die Ergebnisse können als Entscheidungsgrundlage zur Ausweitung bzw. Einschränkung von Risiken dienen. Der ESG liefert die Wahrscheinlichkeit, dass eine Marktbewegung eintritt, die mindestens so stark ist, wie die in dem betrachteten deterministischen Szenario. Als Anforderung an den ESG leitet sich somit ab, dass historische Phänomene mit einer plausiblen Wahrscheinlichkeit in den (real world-) Szenariosätzen enthalten sind.

Beispiel 1: Risikoprämie der Aktien

Bei der Portfoliooptimierung (z.B. bei SAA-Studien) wird dieser Parameter im Einklang mit statistischen Daten gesetzt. Bei einer MCEV – Bewertung gibt es im Gegensatz dazu per definitionem keine Anforderung an die Realitätsnähe der Risikoprämie.¹⁷

¹⁷ Zumindest von der Theorie her sollte die Risikoprämie für Aktien keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Unternehmensbewertung haben – wie etwa bei einer Optionsbewertung nach Black-Scholes.

Beispiel 2: Zinsstrukturkurve

Die Dynamik der Zinskurve in der Projektion ist für ALM-Aufgaben realitätsnah. Darunter können mehrere Detailanforderungen verstanden werden. Zum einen sind die Korrelationen zwischen den Zinsen verschiedener Laufzeiten kleiner als Eins. Zum anderen werden die gängigen Formen der Zinskurve modelliert, beispielsweise eine inverse Zinskurve.

Beispiel 3: Aktienmodellierung

Je nach Aufgabe kann die Modellierung als geometrische Brownsche Bewegung ausreichend sein. Beispielsweise kann man die Fat Tails bei einer 40-jährigen MCEV - Projektion mit jährlichem Schritt vernachlässigen. Andererseits weisen empirische Daten einige typische Eigenschaften auf, wie etwa Fat Tails oder Schiefe. Daher wird empfohlen, dass ein ESG diese Eigenschaften grundsätzlich modellieren kann.

Beispiel 4: Swaption – Volatilitäten

Bei der marktkonsistenten ESG-Kalibrierung spielen insb. die Swaption-Volatilitäten meist eine wichtige Rolle. Konkret werden hierbei die Volatilitäten der „at-the-money“ – Swaptions verwendet, während die Daten zu „out-of-the-money“ – Swaptions fehlen. Allerdings bestimmen die letzteren Volatilitäten die Häufigkeit, mit der Niedrigzinsszenarien auftreten, und somit sind gerade diese Volatilitäten von großer Relevanz. Die Anforderung nach realistischer Kalibrierung stößt hier an ihre Grenzen, da in Abwesenheit von Daten verschiedene „out-of-the-money“-Volatilitäten ihre Berechtigung haben.

5.2 Wechselwirkungen zwischen ESG und Managementregeln

Managementregeln sind Handlungsvorschriften, in denen Entscheidungen des Managements modelliert werden, die von der Situation des Unternehmens im jeweiligen Projektionszeitpunkt abhängen (vgl. Jaquemod et. al. (2005) [23]). Durch solche Regeln werden pfadweise zu jedem Projektionszeitpunkt Steuerungsparameter in Abhängigkeit von zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Informationen (Kennzahlen) festgelegt. Dabei sind Managementregeln i. A. Funktionen, die von drei Klassen von Parametern abhängen, nämlich erstens von deterministisch vorgegebenen allgemeinen Kalibrierungsparametern, zweitens von Variablen, die vom ESG gestellt werden und drittens von weiteren pfadabhängigen Modellgrößen.

Gerade die pfadweise Abhängigkeit von der Kapitalmarktentwicklung zeichnet dynamische Managementregeln aus. Die Abhängigkeit kann dabei direkter Natur sein (Beispiel: Steuerung des Aktien-Portfolios nach Performance) oder indirekt wirken (Beispiel: Steuerung der Überschussbeteiligung nach Reservenausstattung des Unternehmens).

In derartigen Managementregeln manifestieren sich getroffene Annahmen über das zukünftige Entscheidungsverhalten des Managements des Versicherungsunternehmens („Managementregeln i. e. S.“). Darüber hinaus können aber auch extrinsische Einflussfaktoren wie etwa das (Storno-) Verhalten des Versicherungsnehmers, sich ändernde (steuer-)rechtliche Rahmenbedingungen oder ex ante nicht festgelegte

Vorgaben der Versicherungsaufsicht¹⁸ in Managementregeln abgebildet werden („Managementregeln i. w. S.“).

In den seltensten Fällen werden die fachlichen Rahmenbedingungen direkt zu eindeutig definierten Managementregeln führen, sondern i. A. wird mehr oder weniger große Ungewissheit über das zukünftige Verhalten der relevanten Einflussgrößen herrschen. Als klassisches Beispiel kann das Stornoverhalten des Versicherungsnehmers in Abhängigkeit von der Entwicklung der Kapitalmärkte genannt werden, für welches direkte Gesetzmäßigkeiten bisher nicht nachgewiesen wurden (s. u.).

Da aber dynamische (pfadabhängige) Managementregeln im Hinblick auf eine realitätsnahe Modellierung unerlässlich sind, kommt man trotz dieser Ungewissheit nicht umhin, Annahmen über das zukünftige Entscheidungsverhalten zu treffen und als Managementregel zu formulieren. Hier sind pragmatische Ansätze gefragt, die auch in Extremszenarien noch eine sinnvolle und nachvollziehbare Steuerung zeigen. Insbesondere im Falle risikoneutraler Kapitalmarktsimulationen treten Extremszenarien jenseits des bisherigen Erfahrungshorizontes auf (z.B. Zinssätze oberhalb 100%)). Es wird darauf hingewiesen, dass beispielsweise die Stornoreaktionsfunktion auch in diesen *unrealistischen* Bereichen wohldefiniert sein und realistische Werte liefern sollte (keine negative Stornoquote oder keine Stornoquote über 100%). Weitere Probleme können sich ergeben, wenn Kapitalmarktpfade zu stark schwankenden Reserven und Allokationen führen.

Der Einfluss solcher extremer Szenarien auf das Gesamtergebnis nach Anwendung der Managementregeln ist zu prüfen. Oft werden Extremergebnisse durch Anwendung hoher Diskontfaktoren entschärft. Zum Beispiel hat eine Aktionärsdividende von 1 Mrd. EUR im Jahre 2035 keinen nennenswerten Einfluss, wenn der entsprechende Diskont 10^{-7} beträgt.

Im Folgenden werden solche Managementregeln betrachtet, die wesentlich von Kapitalmarktparametern getrieben werden. Besonderes Augenmerk soll dabei auf den Implementierungsaspekt gelegt werden.

Stornoreaktionsfunktion

Das angenommene Stornoverhalten der Versicherungsnehmer hat starken Einfluss auf den Geschäftsverlauf und den ökonomischen Wert des Versicherungsbestandes. Zwar liegt die Vermutung nahe, dass bei zumindest teilweise finanzrationalen Verhalten der Versicherungsnehmer die Stornoneigung durch die Entwicklung des Kapitalmarktes beeinflusst ist - liegt die Rendite alternativer Kapitalmarktanlagen im Vergleich zur Verzinsung ihrer Vertragsguthaben deutlich höher, so wird die Stornoneigung steigen - allerdings konnte ein solcher Zusammenhang auf Basis des bis heute zugänglichen Datenmaterials empirisch bisher nicht nachgewiesen werden.¹⁹ Dennoch wird es sinnvoll sein, eine Abhängigkeit der Stornoneigung von Kapitalmarktparametern zu modellieren. Ein gangbarer Weg wäre, die Stornoneigung durch einen Vergleich von Versicherungsvertragsdaten wie Garantieverzinsung und (Schluss-)Überschussbeteiligung mit Kapitalmarktparametern motiviert zu modellieren. Eine Vergleichsrendite alternativer Kapitalanlagen könnte z. B. als Linearkombination der Renditen

¹⁸wie z. B. die Ablehnung der Aufsicht, nicht festgelegte Teile der RfB zur Verlustdeckung gem. § 140 VAG [24] zu verwenden.

¹⁹Vgl. Cottin et al. (2007) [25].

relevanter Assetklassen (Staatsanleihen, Unternehmensanleihen, Aktien, Immobilien etc.) gebildet werden.

Wie oben bereits erwähnt und anhand der Stornoreaktionsfunktion exemplarisch dargestellt, ist es nicht immer möglich, Managementregeln aus vorliegenden internen oder externen Datenreihen zu entwickeln bzw. zu parametrisieren, sei es, weil der Anwender keinen Zugang zum erforderlichen Datenmaterial besitzt, oder weil er nicht über die notwendigen personellen Ressourcen verfügt. Aber auch dann, wenn eine derartig stringent empirische Herleitung nicht möglich ist, ist der Anwender in der Lage, die getroffenen Annahmen zu erläutern und die formulierten Managementregeln fachlich zu begründen. Insbesondere bei extremen Entwicklungen der die Managementregel beeinflussenden ESG-Inputparameter (z. B. extrem hohen oder extrem niedrigen Zinsen) liefert diese noch nachvollziehbare Werte.

Die in Form von Managementregeln (i.w.S.) hinterlegten Wirkungszusammenhänge zwischen vom ESG bereitgestellten Kapitalmarktgrößen und durch diese beeinflusste Steuerungsgrößen werden so weit wie möglich empirisch begründet. Ist dieses z. B. aufgrund fehlender historischer Daten nicht möglich, so werden Best-Practice-Ansätze gewählt, die in moderaten Szenarien realitätsnahe Ergebnisse liefern und auch in Extremszenarien plausible Werte zeigen (vgl. auch Prinzip 8).

Zinsüberschussbeteiligung

Eine wichtige Einflussgröße für die Wertentwicklung eines Lebensversicherers und für dessen Risikoexposition ist die Beteiligung der Versicherungsnehmer an den erwirtschafteten Überschüssen und dabei insbesondere die laufende Zinsüberschussbeteiligung, welche jeweils vor Beginn eines Jahres für das folgende Geschäftsjahr deklariert wird. Von entsprechend hoher Relevanz ist die im Modell hinterlegte Managementregel zur Zinsüberschussbeteiligung.

Ein nahe liegender Modellierungsansatz ist hier eine Steuerung der Zinsüberschussbeteiligung nach der Renditeerwartung des Kunden unter Berücksichtigung der Reserveausstattung des Lebensversicherungsunternehmens. Ähnlich wie oben im Zusammenhang mit der Stornoreaktionsfunktion beschrieben, wäre ein praktikabler Ansatz zum Beispiel die Bereitstellung einer Marktvergleichsgröße durch den ESG, welche für eine in dem Pfad zu dem Zeitpunkt herrschende Renditeerwartung des Kunden steht²⁰. Die Deklaration orientiert sich dann an dieser Vergleichsrendite, wobei die Reserveausstattung²¹ als zusätzliche wesentliche Steuerungsgröße einfließen sollte. Unter Umständen kann die vom ESG gestellte Marktvergleichsgröße mit der im Kontext der Stornoreaktionsfunktion gebildeten Markttrendite übereinstimmen.

Wie offensiv oder defensiv die Zinsüberschussbeteiligung jeweils durch die Managementregel gesteuert wird, passt selbstverständlich zu den real beschlossenen Deklarationen der Vergangenheit. Eventuell vorgenommene Strategiewechsel werden begründet.

²⁰ Z. B. 10% Aktienrendite + 90% Rendite 10jähriger Staatsanleihen

²¹ Aktivreserven und freie RfB im Verhältnis zur Deckungsrückstellung

Entscheidungsträger verfügen über ein hinreichendes Verständnis der wesentlichen fachlichen Wirkungszusammenhänge. Hierzu gehört auch die Fähigkeit, dieses sachverständigen Dritten nachvollziehbar erläutern zu können (vgl. Prinzip 3).

Eine Anforderung an die Implementierung von ESG-getriebenen Managementregeln ist naturgemäß, dass der ESG die für die Managementregel erforderlichen Größen tatsächlich zur Verfügung stellt (vgl. Prinzip 2).

Schlussüberschussanteilfonds

Nach § 28 RechVersV ergibt sich der höchstzulässige Diskontsatz für die Berechnung des Schlussüberschussanteilfonds als 10jähriges Mittel der Umlaufrenditen der Anleihen der öffentlichen Hand. Um den Diskontsatz durch eine Managementregel im Zeitverlauf pfadabhängig und im Zeitverlauf variabel zu modellieren, stellt der ESG die Daten (Anleihenrenditen) zur Verfügung, die zur Bildung einer der Umlaufrendite entsprechenden Kennzahl erforderlich sind.

Entwicklung der Verwaltungskosten

Wird eine Managementregel zur Entwicklung der Verwaltungskosten implementiert, die eine inflationsabhängige Fixkostenentwicklung vorsieht, so hält der ESG auch pfadweise Inflationskennzahlen bereit.

Moderne stochastische Unternehmensmodelle enthalten eine Vielzahl ESG-getriebener Managementregeln. Je feiner und realitätsnäher modelliert wird, umso zahlreicher und komplizierter werden die zu hinterlegenden Managementregeln gestaltet. Allerdings erkennt man ökonomische Wirkungszusammenhänge oftmals am besten, wenn man zunächst nur wenige einfache Managementregeln einbaut. Zu komplizierte Managementregeln können die Interpretierbarkeit der Projektionsergebnisse u. U. erschweren. Deshalb ist es wichtig, sich je nach Erfahrung mit dem verwendeten Modell und mit den zu implementierenden Managementregeln im Spektrum zwischen wenigen schlichten Managementregeln und einem komplizierten Geflecht solcher Regeln geeignet zu positionieren. Bei der Modellierung von Managementregeln sollten Simplität und Komplexität angemessen balanciert sein. Darüber hinaus werden relevante Risiken nicht zu harmlos modelliert, sondern zeigen jeweils angemessene Wirkung.

Ein wichtiges Eignungskriterium für Managementregeln ist, ob sie stabile Ergebnisse liefern und zugleich über eine hinreichende Parametersensitivität verfügen.

Die Managementregeln und deren Parametrisierung werden so gestaltet, dass im Zeitverlauf stabile Ergebnisse erzielt werden, die allerdings auch hinreichend sensibel auf Marktschwankungen reagieren (vgl. Prinzip 10).

Es ist ratsam, beim Aufstellen ESG-getriebener Managementregeln darauf zu achten, dass deren Ausgestaltung nicht zu stark von der konkreten Wahl des ESG abhängig ist. Managementregeln werden so angelegt, dass sie auch nach einem Wechsel des ESG-Anbieters noch ohne allzu großen Anpassungsaufwand funktionieren.

Darüber hinaus sind Managementregeln unabhängig von der verwendeten Modellklasse (real world oder risikoneutral).

5.3 Fehlerquellen und operationale Risiken

Dieser Abschnitt behandelt die möglichen Fehlerquellen, operationale Risiken und Missbrauchsmöglichkeiten bei der Implementierung von Kapitalmarktmodellen. Zu diesem Zweck ist insbesondere zu klären, ob das Modell adäquat implementiert ist und ob es richtig kalibriert ist. Die Fehlerquellen betreffen weitgehend sowohl risikoneutrale Modelle als auch real world-Modelle. Wo sich Unterschiede ergeben, werden diese im Text erläutert.

5.3.1 Fehlerquellen

Fehler können entstehen, wenn der ESG konstruktionsbedingt negative oder extrem hohe Zinsen liefern kann und diese im Modell Probleme verursachen. Auch explodierende Aktienkurse (Indizes) fallen in diese Kategorie. Ein Abschneiden der Zinsen in den entsprechenden Pfaden, das dieses Problem umgehen würde, verletzt in der Regel im risikoneutralen Kontext u.a. Martingaleigenschaften und Arbitragefreiheit des Modells und ist daher nicht erlaubt.

Prinzipiell können anhand der Prozessschritte folgende Fehlerarten unterschieden werden:

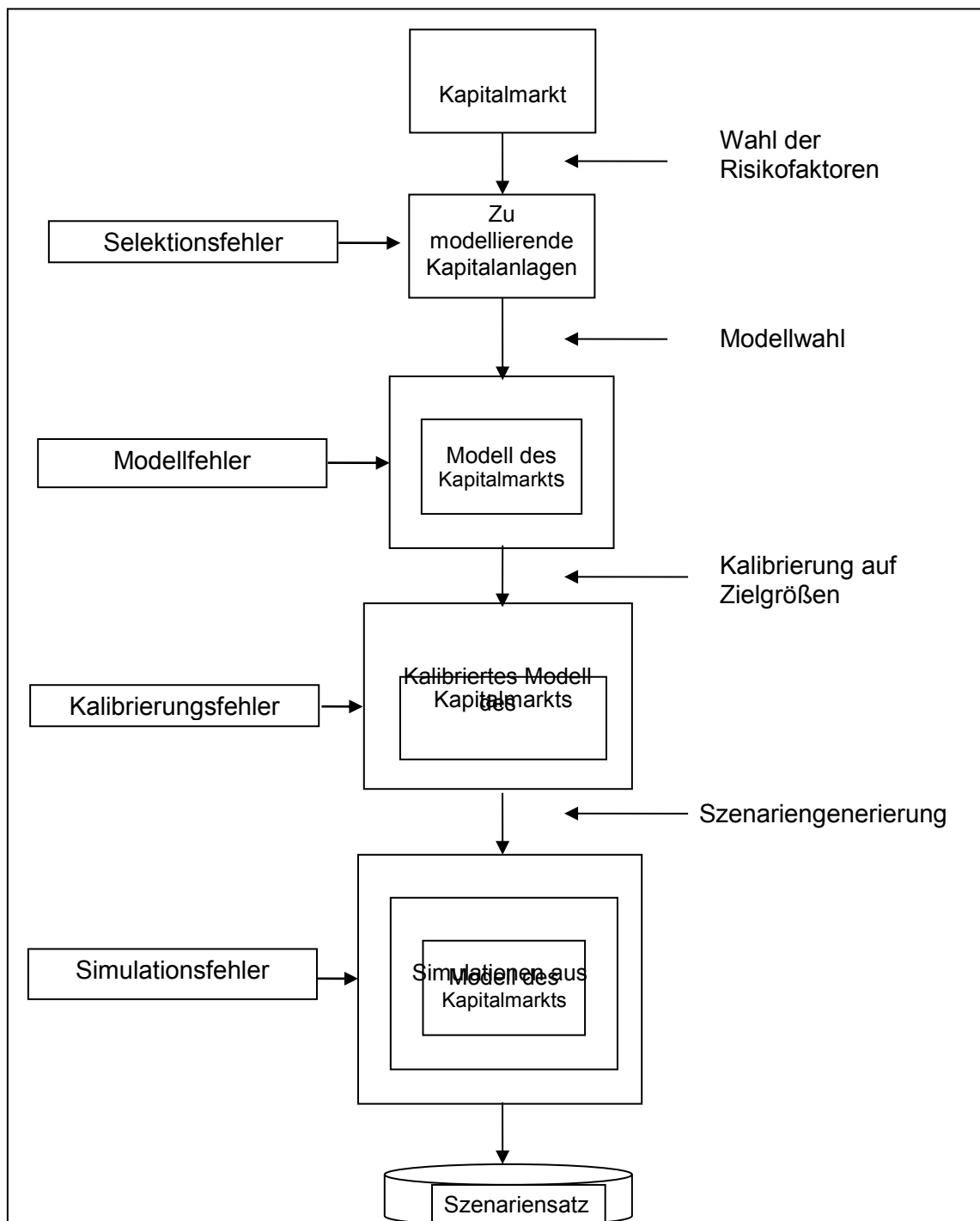


Abb. 3 Fehlerarten

- Unzweckmäßige Auswahl der Risikofaktoren: Bereits die ungeeignete Auswahl der Risikofaktoren, die zur späteren Modellierung des Kapitalmarkts herangezogen werden sollen, kann zu einem erheblichen Fehler führen.

- Unpassende Modellauswahl: Im Rahmen der Modellwahl wird bereits auf eine Eignung des Modells für die betreffende Fragestellung geachtet. Verfügt ein Modell beispielsweise nur über einen einzelnen Volatilitätsparameter, so kann im späteren Test keine exakte Abbildung einer Volatilitätsfläche erwartet werden.
- Ungeeignete Kalibrierung, keine Konvergenz bei einer numerischen Parameteroptimierung (z.B. lokale Minima): Die Kalibrierungsgüte des Modells kann bereits nach dem Kalibrierungsprozess abgeschätzt werden ohne dass eine Szenariengenerierung stattfindet (z.B. durch Baumverfahren). Ist aus den Kalibrierungsparametern bereits eine schlechte Übereinstimmung mit den Marktdaten zu erwarten, so findet ein erneuter Kalibrierungsprozess mit neuen Startwerten für die numerische Optimierung oder ggf. überarbeiteten Fehlergewichten usw. statt.
- Zu geringe Anzahl an Szenarien, schlechte Konvergenzeigenschaften des Modells bezogen auf die Szenarienzahl: Hier kann durch eine Erhöhung der Szenarienzahl eine bessere Konvergenz erreicht werden. Dabei ist zunächst zu untersuchen, inwieweit die Auswahl der Zufallszahlen die Resultate beeinflusst. Einer Erhöhung der Szenarienzahl stehen in der Praxis zumeist Beschränkungen hinsichtlich der Rechenzeit gegenüber. Daher sollte auf gute Konvergenzeigenschaften bereits in der Modellwahl geachtet werden. Dies umfasst die Auswahl des Zufallszahlenstroms.

Eine unpassende Modellwahl liegt bei Verwendung inkonsistenter Teilmodelle vor. Ein Beispiel ist die Verwendung eines Kreditrisikomodells, das auf real world-Wahrscheinlichkeiten abstellt, zusammen mit einem risikoneutralen Marktrisiko-Modell. Wenn verschiedene Währungsräume modelliert werden, wird die Drift der Wechselkurse korrekt gewählt, um Arbitragemöglichkeiten auszuschließen. Ebenso ist darauf zu achten, dass die verwendeten Modellpunkte die vorhandenen Risiken adäquat abbilden. Ein typischer Fehler besteht darin, dass im Portfolio Finanzinstrumente vorhanden sind, die Risiken unterliegen, welche im ESG nicht ausreichend oder gar nicht modelliert sind. Hier besteht auch die Möglichkeit des Missbrauchs, wenn eine bewusst zu einfache Modellierung gewählt wird, um Risiken zu verschleiern.

Eine Voraussetzung für die korrekte Kalibrierung ist eine ausreichende und zeitgerechte Marktdatenversorgung. Fehler können entstehen, wenn Marktdaten unzureichender Qualität angeliefert werden. Deshalb wird sichergestellt, dass Marktdaten korrekt übertragen und validiert werden.

In die Kalibrierung eines real world-Modells fließen typischerweise Annahmen ein. Wenn beispielsweise die Annahmen über Volatilitäten und Korrelationen aus historischen Daten abgeleitet werden, hängen die Ergebnisse von der Länge der Historie ab. Durch die willkürliche Veränderung von Annahmen ist hier ein Missbrauch möglich. Gleiches gilt sinngemäß für die Wahl der mittleren Renditen. Die Annahmen sollten daher konsistent zu vergangenen Auswertungen sein, jeder Wechsel von Annahmen sollte dokumentiert und begründet werden (vgl. Prinzip 4).

5.3.2 Operationale Risiken

Operationale Risiken sind Risiken, die sich aus dem Betrieb des ESG ergeben und die auf fehlerhafte Prozesse oder Systeme, auf das Fehlverhalten von Personen und auf unternehmensexterne Ereignisse zurück zu führen sind.

Ein nicht zu unterschätzendes operatives Risiko liegt in der Komplexität eines internen Modells in Kombination mit den stochastischen Kapitalmarktszenarien. Insbesondere bei zahlreichen miteinander interagierenden Managementregeln ist eine Modellvalidierung auf stochastischen Ergebnissen sehr schwierig und erfordert Erfahrung im Umgang mit dem Modell. Daher werden die Modelle und das Verhalten der Managementregeln im deterministischen Kontext validiert und die stochastischen Ergebnisse plausibilisiert. Eine Modellkomplexität, die über das jeweils notwendige Niveau hinausgeht, kann durch eine Vorgabe für den Modellaufbau vermieden werden. Es sollte außerdem angestrebt werden, bei der erstmaligen Modellimplementierung mit einem übersichtlichen, ggf. vereinfachten Modell zu starten, um ein fundamentales Verständnis für die Modellergebnisse und das Modellverhalten unter den später eingefügten komplexeren Regelwerken zu erzielen (vgl. Prinzip 5).

Wenn ESG-Daten von externen Anbietern verwendet werden, können Missverständnisse in der Kommunikation zu fehlerhaften Auswertungen führen. Beispielsweise könnte die Modellierung eines Kapitalmarktindex anders erfolgt sein, als dies vom Anwender verstanden wird oder ggf. anders, als er angefordert wurde.

Ein wesentliches Instrument zur Vermeidung von Fehlern und operationellen Risiken ist eine vollständige und aktuelle Dokumentation. Sie umfasst alle Vorgänge in und um den ESG und kann aus mehreren einzelnen Dokumenten bestehen. Zum Adressatenkreis gehören die Entwickler des ESG selbst, die Anwender und die Aufsichtsbehörden, sofern der ESG Teil eines Internen Modells ist. Während für Entwickler eine sehr detaillierte Dokumentation erforderlich ist, gilt dies für den Anwender nur eingeschränkt. Zu den Anwendern zählen auch die Geschäftsführung und die obere Führungsebene eines Versicherungsunternehmens.

Die Dokumentation für Entwickler ist so ausgestaltet, dass der ESG durch einen sachkundigen Dritten jederzeit weiterentwickelt und dessen Güte abschließend beurteilt werden kann. Die Dokumentation umfasst daher Aufbau, Modelle und Annahmen sowie die Kommentierung des Quellcodes.

Für den Anwender genügt eine geringere Detailtiefe, die die Wirkzusammenhänge erläutert. Die Dokumentation gibt dem Anwender die Möglichkeit, Stärken und Schwächen des Modells zu erkennen.

Die Anforderungen, die die europäischen Aufsichtsbehörden stellen, wenn ein ESG im Rahmen eines Internen Modells verwendet wird, ergeben sich aus der Richtlinie Solvabilität II CEIOPS (2009) [2].

Generell sind beim Betrieb von IT-Systemen diverse Aspekte zu beachten. Für den Betrieb eines ESG sind dabei die Folgenden von besonderer Bedeutung:

- Schnittstellen sollten klar definiert und robust sein.

- Die Rechenzeiten müssen den Anforderungen der jeweiligen Anwendung genügen. Dies ist vor allem dann kritisch, wenn lange Rechenzeiten durch problematische Maßnahmen (z.B. Reduktion der Anzahl der Szenarien) umgangen werden (vgl. Prinzip 1).
- Ergebnisse sollten generell reproduzierbar sein. Der ESG sollte mit einem vorgegebenen Parametersatz immer Szenariosätze mit ähnlichen statistischen Eigenschaften erzeugen. Idealerweise sind die Zufallszahlgeneratoren so initialisierbar, dass identische Szenariosätze erzeugt werden können.
- Es wird darauf geachtet, dass weder beim Hersteller eines externen ESG noch bei einer internen Entwicklung Kopffmonopole entstehen. Es wird empfohlen, in dem Zusammenhang eine ausreichende Personalausstattung und -ausbildung sowie eine ausreichende Dokumentation der Technik und der Prozesse zu gewährleisten.
- Die Software ist ausreichend gesichert, um jederzeit einen Weiterbetrieb zu ermöglichen. Bei unternehmensinterner Entwicklung kann dies durch ein geeignetes Datensicherungssystem realisiert werden. Für Kaufsysteme bietet sich beispielsweise der Abschluss von treuhänderischen (Escrow) Vereinbarungen an, die den externen Anbieter des ESG verpflichten, die jeweils aktuelle Version des dem ESG zugrundeliegenden Quellcodes bei einem externen Dritten zu hinterlegen und, sobald der externe Anbieter nicht mehr existiert, ihn dem Käufer zu überlassen.

A. Anhang

A.1 Glossar

Aktives Marktsegment

Ausgehend von den Überlegungen im Rahmen von Solvency II wird ein Marktsegment als aktiv bezeichnet, wenn

- Die Daten in diesem Marktsegment (Preise, Volatilitäten, Zinssätze, etc.) vollständig verfügbar sind,
- Transaktionen in jedem Umfang und jederzeit ohne Beeinflussung der Preise ausgeführt werden können und
- Die Anzahl der Kontrahenten und handelbaren Wertpapiere hinreichend groß ist.

(→ inaktives Marktsegment)

Anwender

Zu den Anwendern eines ESG zählen alle Personen und Funktionseinheiten eines Versicherungsunternehmens, die die Ergebnisse des ESG direkt und indirekt verantworten, weiter verarbeiten oder zur Steuerung verwenden und das Versicherungsunternehmen als Ganzes.

Ist das ESG insbesondere Teil des Internen Modells im Sinne der Richtlinie Solvabilität II, so müssen nach Artikel 118 (Verwendungstest) die Ergebnisse des ESG mittelbar oder unmittelbar in das Risikomanagementsystem und die unternehmensinternen Entscheidungsprozesse einfließen. Daher erstreckt sich der Begriff Anwender in diesem Zusammenhang bis zur Ebene der Geschäftsleitung.

Arbitragefreiheit

Arbitrage bezeichnet das Erzielen eines risikofreien Gewinns ohne Einsatz investierten Kapitals. Die Annahme eines arbitragefreien Marktes schließt das Auftreten von Arbitrage aus.

Assetklasse

Unter einer Assetklasse wird ein Teil des Kapitalmarktes verstanden, in den investiert werden kann. Dabei werden die Teilmengen so gebildet, dass sich ihre Elemente nach Art und Funktionsweise ähnlich sind. Typische Assetklassen sind Anleihen und Rentenpapiere, Aktien, Investmentanteile, Immobilien und Beteiligungen. Im individuellen Unternehmenskontext determiniert das eigene Kapitalanlageportfolio eine weitere sinnvolle Untergliederung der Assetklassen dahingehend, dass die Aufteilung des eigenen Kapitalanlageportfolios in Assetklassen eine „optimale“ Analyse aller Assets ermöglichen muss.

Best Estimate

Der Begriff des Best Estimate (oder präziser Best Estimate Liability) wird in der Richtlinie Solvabilität II im Zusammenhang mit der Berechnung bzw. Bewertung von versicherungstechnischen Rückstellungen (Art. 75 ff.) verwendet.

Der Wert der vt. Rückstellungen soll dabei dem aktuellen Betrag entsprechen, den Versicherungs- oder Rückversicherungsunternehmen ohne Berücksichtigung zusätzlicher Margen zahlen müssten, wenn sie ihre Versicherungs- und Rückversicherungsrisiken an ein anderes Unternehmen übertragen würden (vgl. DAV-Hinweis zum Best Estimate in der Lebensversicherung (2010) [28]). Die versicherungstechnischen Rückstellungen sind dabei marktkonsistent zu bewerten (Art. 75 Abs. 3). Dieser marktkonsistente Wert der vt. Rückstellung hat gleich der Summe aus Best Estimate und einer Risikomarge zu sein (Art. 76, Abs. 1).

Der Best Estimate entspricht dem wahrscheinlichkeitsgewichteten Gegenwartswert zukünftiger Zahlungsströme unter Verwendung der „relevant risk-free interest rate term structure“ (Art. 76. Abs. 2).

ESG (Economic Scenario Generator) → Ökonomischer Szenariogenerator

Inaktives Marktsegment

Ein Marktsegment wird als inaktiv bezeichnet, wenn es nicht aktiv ist.

Marktkonsistente Bewertung und Kalibrierung

Eine marktkonsistente Bewertung von Aktiva und Passiva zu einem bestimmten Stichtag ist gegeben, wenn die Bewertung in aktiven Marktsegmenten auf Basis von zu diesem Zeitpunkt gültigen Marktpreisen (mark-to-market) und in inaktiven Marktsegmenten mittels eines Bewertungsmodells (mark-to-model) vorgenommen wird.

Ein Kapitalmarktmodell ist marktkonsistent kalibriert, wenn das Kapitalmarktmodell tatsächliche beobachtbare Marktpreise aus aktiven Marktsegmenten repliziert.

Marktsegment

Unter Marktsegment wird ein Teil des Gesamtmarktes oder eine Teilmenge einer Assetklasse mit spezieller Fokussierung auf eine bestimmte Laufzeit, Wirtschaftsregion, Ratingklasse etc. verstanden. Die konkrete Wahl eines Marktsegmentes hängt vom Kontext ab. Mögliche Marktsegmente können z.B. sein:

- Aktien einer bestimmten Region oder Branche
- Aktienoptionen einer bestimmten Laufzeit
- Staatsanleihen einer bestimmten Laufzeit oder Wirtschaftsregion
- Unternehmensanleihen einer bestimmten Laufzeit oder Branche
- Zinsoptionen einer bestimmten Laufzeit.

Ökonomischer Szenariogenerator

Ein ökonomischer Szenariogenerator (Economic Scenario Generator, Abk. ESG) ist ein Werkzeug zur Erstellung stochastischer, in die Zukunft gerichteter, ökonomischer Szenarien. Im Fokus steht dabei die Modellierung all der ökonomischen Variablen (z.B. BIP, Zins, Wechselkurse, Aktien), die Einfluss auf die Aktiv- und Passivseite des Unternehmens haben, welches den Szenariogenerator verwendet.

Die Szenarien werden typischerweise auf Basis ökonomischer, finanzmathematischer, statistischer und/oder ökonometrischer Modelle und Methoden erstellt und mit dem Ziel verwendet, das Verhalten der Variablen innerhalb des Modells möglichst konsistent mit dem in der Realität beobachtbaren Verhalten abzubilden. Durch eine Vielzahl von Szenarien werden schlussendlich Verteilungsprognosen der modellierten Variablen erstellt und keine Punktprognose.

Risikofaktoren

Risikofaktoren sind aus Sicht eines Unternehmens interne oder externe Ereignisse, die die Entstehung oder das Verhalten von identifizierten Risikoobjekten (z.B. Aktien, Anleihen) in einem Risikobereich (z.B. Kapitalanlagebereich) wesentlich beeinflussen können. Als Beispiel sei das Risikoobjekt der Rentenpapiere genannt, dessen Risikotreiber unter anderem der Zins ist. Bei der Modellierung der Rentenpapiere wird dabei auf die Modellierung des Zinses zurückgegriffen, der auch als Risikotreiber in andere Assetklassen (Risikoobjekte) mit eingehen kann.

Risikoneutrale Bewertung vs. Real World Bewertung

Bei der marktkonsistenten Bewertung von Finanzprodukten wird zwischen der risikoneutralen und der physikalischen („real world“) Bewertung unterschieden. Beide Bewertungsmethoden sind demnach definitionsgemäß marktkonsistent. Die Begriffe risikoneutral und real world bezeichnen dabei unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsmaße finanzmathematischer Modelle.

Bei der physikalischen Bewertung wird der heutige Wert unsicherer zukünftiger Zahlungsströme als Erwartungswert unter einem „realen“ Wahrscheinlichkeitsmaß, das sich aus der tatsächlich beobachtbaren Verteilung der Zinsen, Renditen etc. ableitet, und einem Deflationsprozess berechnet, in dem eine Risikoprämie enthalten ist.

Bei der risikoneutralen Bewertung wird von dem physikalischen Wahrscheinlichkeitsmaß zum risikoneutralen Maß übergegangen und der heutige Wert der unsicheren zukünftigen Zahlungsströme als Erwartungswert unter einem risikoneutralen Wahrscheinlichkeitsmaß und durch Diskontierung mittels des risikofreien Zinses berechnet.

Szenarien

Gegenstand der Szenariotechnik (als Teil der Prognosetechnik) ist die Analyse eines Objekts (z.B. Versicherungsunternehmen) unter dem Einfluss unterschiedlicher Ausprägungen von Variablen bzw. Faktoren, die das Verhalten des Objekts maßgeblich beeinflussen. Mit dem Begriff Szenario bzw. Szenarien wird dabei das simulierte Verhalten dieser das Objekt beeinflussenden Variablen unter bestimmten Rahmenbedingungen bezeichnet. Die Rahmenbedingungen werden dabei durch Annahmen determiniert (z.B. Modellannahmen, Verteilungsannahmen). Dabei lässt sich zwischen stochastischen und deterministischen Szenarien unterscheiden. Ein einzelnes stochastisches Szenario bezeichnet eine Realisation aller in einem stochastischen Modell hinterlegten Zufallsvariablen und Prozesse, also einen einzigen zufällig gezogenen Zustand der modellierten Realität. Bei einem deterministischen Szenario werden die Ausprägungen der Variablen vom Anwender fixiert. Er kann dabei die Variablen so wählen, dass diese zum Beispiel extrem schlechte Bedingungen (Worst Case) oder extrem gute Bedingungen (Best Case) darstellen. Dadurch lässt sich das Verhalten des Objekts unter diesen speziellen Szenarien separat analysieren.

Szenariensatz

Im Kontext eines ESG kann die Gesamtheit der betrachteten ökonomischen Variablen als mehrdimensionaler stochastischer Prozess aufgefasst werden. Eine Realisation dieses Prozesses über den gesamten Betrachtungszeitraum ist ein Szenario. Eine Menge von Szenarien wird Szenariensatz genannt.

Use-Test (Verwendungstest)

Generelle Anforderung, die Ergebnisse eines Unternehmensmodells geeignet in die Unternehmenssteuerung einzubeziehen (vgl. Solvabilität II (2009) [2])

Verteilungsprognose und Punktprognose

Eine Verteilungsprognose einer Zufallsvariable zu einem bestimmten zukünftigen Zeitpunkt ist eine Schätzung der (bedingten) Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Zufallsvariable, die jedem zu diesem Zeitpunkt möglichen Ereignis eine Wahrscheinlichkeit zuordnet. Eine Verteilungsprognose beinhaltet daher eine komplette Beschreibung der Unsicherheit, die mit der Prognose verbunden ist.

Im Gegensatz dazu wird bei der Punktproggnose nur ein einzelner Wert geschätzt, der alleine keine Informationen über die Unsicherheit der Schätzung enthält. In der Regel wird dabei der (bedingte) Erwartungswert betrachtet.

Volatilitätsfläche (engl.: volatility surface)

Die Volatilitätsfläche ist eine Struktur, welche die Änderung der impliziten Volatilitäten mit Basispreis (Preis des Underlyings) und Laufzeit ausweist (vgl. Hull (2009) [26], S. 953). Die implizite Volatilität ist diejenige Volatilität, die im Black-Scholes-Modell den Optionspreis reproduziert. In Swaption-Märkten wird die Volatilitätsfläche in der Regel als Funktion von Options- und Swapplaufzeit verstanden. Außerdem ist zunehmend vom Volatility Cube die Rede, der die implizite Volatilität als Funktion von Optionslaufzeit, Swapplaufzeit und Strike darstellt.

A.2 Exkurs zur Richtlinie Solvabilität II und Dokumentationsstandards

Findet ein ESG Anwendung bei der Berechnung der aufsichtsrechtlichen Solvenzkapitalanforderung im Sinne der Richtlinie Solvabilität II, dann sind die in Artikel 125 der Richtlinie Solvabilität II aufgeführten Dokumentationsstandards zu erfüllen:

- „Die Versicherungs- und Rückversicherungsunternehmen dokumentieren den Aufbau und die operationellen Einzelheiten ihres Internen Modells.“
- „Aus der Dokumentation muss die Einhaltung der Anforderungen der Artikel 120 bis 124 hervorgehen [Verwendungstest, Statistische Qualitätsstandards, Kalibrierungsstandards, Zuordnung von Gewinnen und Verlusten, Validierungsstandards]. “
- „Die Dokumentation enthält eine detaillierte Erläuterung der Theorie, der Annahmen sowie der mathematischen und empirischen Basis, auf die sich das Interne Modell stützt.“
- “Die Dokumentation gibt Situationen an, in denen das Interne Modell nicht wirksam funktioniert.“
- “Die Versicherungs- und Rückversicherungsunternehmen dokumentieren alle größeren Veränderungen an ihrem Internen Modell gemäß Artikel 115.“

Erläuterungen zum ersten Punkt:

Die Dokumentation ist dabei grundsätzlich derart auszugestalten, dass jeder sachverständige Dritte den Aufbau und die operationellen Einzelheiten des Modells nachvollziehen kann. Die Dokumentation sollte dabei auf dem aktuellen Stand, gut strukturiert, ausreichend detailliert und komplett sein. Auf Basis dieser Dokumentation sollten zudem alle Ergebnisse des Modells reproduziert werden können.

Erläuterungen zum zweiten Punkt:

Die Dokumentation muss demnach zeigen, dass die Anforderungen nach Artikel 120 bis 124 eingehalten werden. Die genauen Dokumentationspflichten ergeben sich dabei aus den genannten Artikeln.

Im Rahmen der Modellierung könnten hierbei allerdings weite Teile der Dokumentationspflichten bzgl. statistischer Qualitätsnormen und Validierungsstandards bereits effizient abgedeckt werden. Der Aufbau eines ESG beinhaltet in der Regel mehrere Phasen statistischer Tests und Validierungen. Werden diese ausreichend dokumentiert, so könnte der Aufsichtsbehörde dargelegt werden, welchen statistischen Qualitäts- und Validierungsstandards das Modell bis zum Prüfungszeitpunkt unterworfen war.

Je früher mit der Dokumentation begonnen wird, desto leichter könnten zudem der Aufsichtsbehörde die Entwicklungsschritte des Modells nachvollziehbar dargestellt werden. Diese Historie sollte über eine reine Dokumentenhistorie hinausgehen und Modellversionen, Dateninput und Datenoutput umfassen. Zudem sollte es jederzeit möglich sein, vergangene Ergebnisse und Durchläufe zu reproduzieren. Die Gründe für einzelne Modelländerungen sollten nachvollziehbar dargelegt werden.

Alle Prozesse im Zusammenhang mit dem ESG müssen darüber hinaus qualitativen Anforderungen genügen. Daher sollte die Dokumentation auch Auskunft über Verantwortlichkeiten, Prozesse, Kontrollen, Benutzerzugriffe und Benutzerrechte sowie über die Notfallplanung bzgl. des Generators Auskunft geben. Der letztgenannte Punkt umfasst auch Anforderungen an die Verfügbarkeit und Integrität der IT-Systeme. Alle Schnittstellen des ESG zu anderen Anwendungen, die Datenprozesse sowie die verwendeten Daten sind dabei ebenfalls zu erfassen und zu dokumentieren.

Es sei darauf aufmerksam gemacht, dass eine unzureichende Dokumentation zu einer Verweigerung der Genehmigung eines Internen Modells führen kann. Es ist daher empfehlenswert, die nötigen Dokumentationsprozesse frühzeitig aufzubauen und mit der Dokumentation so früh wie möglich zu beginnen.

Exkurs zu Artikel 126 Richtlinie Solvabilität II

In Artikel 126 der Richtlinie Solvabilität II ist dargelegt, dass die Verwendung eines Modells oder Daten von Dritten keine Rechtfertigung für eine Ausnahme von den Anforderungen an das Modell gemäß den Artikeln 120 bis 125 darstellt. Somit gelten bei Eigenentwicklung und bei Verwendung von Modellen bzw. Daten Dritter die gleichen Dokumentationsanforderungen. Versicherungsunternehmen sind demnach keinen geringeren oder höheren Anforderungen ausgesetzt, wenn auf Modelle oder Daten Dritter zurückgegriffen wird.

Eine ausreichende Transparenz hinsichtlich dieser Modelle und Daten ist hierbei zudem eine Grundvoraussetzung für die Möglichkeit der Erfüllung der Anforderungen der Artikel 124 (Validierungsstandards) und Artikel 121 (Statistische Qualitätsstandards). So verlangt Artikel 121 der Richtlinie Solvabilität II u.a., dass Versicherungsunternehmen in der Lage sein müssen, die Ihrem Modell zugrunde liegenden Annahmen gegenüber der Aufsichtsbehörde zu rechtfertigen. Der Begriff der Annahme kann in diesem Zusammenhang sehr weit gefasst werden - von Annahmen über das Zusammenwirken der Modellteile bis hin zu einzelnen Modell- oder Verteilungsannahmen.

Des Weiteren sollten der Auswahlprozess, die Stärken und Schwächen sowie die mit der Verwendung externer Modelle und Daten verbundenen möglichen Restriktionen dokumentiert werden.

Erläuterungen zum dritten Punkt:

Die Detailtiefe der geforderten Modelldokumentation geht hierbei über einen einfachen Modellumriss hinaus. Die zugrundeliegenden Theorien, die Ideen, die Datenqualität, die Annahmen sowie die mathematischen und empirischen Grundlagen des ESG sind u.a. zu dokumentieren. Die Dokumentation umfasst damit gleichermaßen Aspekte wie Modellstruktur, Abhängigkeitsmodellierung sowie einzelne Schätzmethoden und Algorithmen.

Folgende Schritte sollten dabei für sachverständige Dritte nachvollziehbar sein: Modellidentifikation, Modellspezifikation, Modellschätzung/-kalibrierung und Modellprüfung. Hierzu zählt ebenfalls die Dokumentation von Expertenschätzungen und Sensitivitätsanalysen. Des Weiteren sollten die genutzten Datensätze, Parameter und Modellergebnisse dokumentiert und archiviert werden, damit vergangene Resultate exakt nachvollzogen werden können (Modellhistorie).

Erläuterungen zum vierten Punkt:

Dieser Punkt soll sicherstellen, dass bis zur Ebene des Anwenders die Schwächen, der Erklärungsgehalt und die Interpretationsfallen des Modells bekannt sind. Nur wer die Schwächen und Nachteile seines Modells kennt, kann dieses auch richtig anwenden. Zudem kann hierdurch der Aufsichtsbehörde die unternehmensinterne Auseinandersetzung mit dem Modell gezeigt werden.

Es sollten u.a. die Aspekte Risikoabdeckung, Modellierungsunsicherheit (s. Abschnitt 3.3.3), Datenqualität, externe Modelle und Daten hierbei behandelt werden.

Erläuterungen zum fünften Punkt:

Diese Anforderung bezieht sich auf den Artikel 115 der Richtlinie Solvabilität II (Leitlinien für Änderungen vollständiger oder partieller Interner Modelle). Demnach haben Versicherungsunternehmen im Rahmen des Erstgenehmigungsprozesses Leitlinien zur Änderung des Modells zu entwickeln. Diese Leitlinien werden von der zuständigen Aufsichtsbehörde genehmigt. Dabei ist zwischen großen und kleinen Modelländerungen zu unterscheiden. Während große Modelländerungen von der Aufsichtsbehörde zu genehmigen sind, sind kleine Änderungen nur anzuzeigen.

Um solche Leitlinien zu entwickeln, kann es hilfreich sein, bereits parallel zur Entwicklung des Internen Modells alle Änderungen zu sammeln, zu klassifizieren und zu kommentieren. So kann als direkter Ausfluss aus dem Modellierungs- und Validierungsprozess eine solche Änderungs politik erstellt werden.

In Bezug auf die einzelnen Modelländerungen sollten alle Überlegungen, Gründe, quantitativen und qualitativen Auswirkungen festgehalten werden. Schließlich sollten alle Dokumente aktualisiert werden, wenn dies durch die Modelländerung erforderlich wird.

A.3 Beispiele zur Modellierung

A.3.1 Periodenlänge

Grundsätzlich gilt, dass eine kürzere Periodenlänge (auch als Frequenz bezeichnet) die Modellierungsgenauigkeit erhöht, sofern entsprechende Daten verfügbar sind.

Dies gilt sicherlich auch für ein internes Unternehmensmodell, in welchem z.B. monatliche Allokationsregeln ein verbessertes Portfolio- und Risikomanagement ermöglichen können. Es stellt sich aber die Frage, ob dieser Effekt für die Anwendungsbereiche eines Kapitalmarktmodells in jedem Fall von Bedeutung ist. Um dieses zu eruieren, wurde der Einfluss der Periodenlänge an einem Musterunternehmen untersucht.

Das Beispiel wurde so gewählt, dass der Einfluss des Kapitalmarktmodells bereits in den ersten Simulationsjahren möglichst sensitiv ist. Ausgewählt wurde daher ein fiktives junges Versicherungsunternehmen bestehend auf der Passivseite aus einem Renten- und einem Kapitallebensprodukt mit einem starken Beitragswachstum und geringen vorhandenen Reserven. Das starke Wachstum verbunden mit den geringen stillen Reserven führt zu einer hohen Anfälligkeit gegenüber der Entwicklung am Kapitalmarkt. Es kann hier stark vereinfacht der Einfluss der Kapitalmarktmodellierung illustriert werden.

Der leichten Verständlichkeit entsprechend wurden die Managementregeln möglichst einfach gehalten:

Die Zielnettoverzinsung beträgt über die gesamte Simulationsdauer konstant 4,0% und die Gesamtverzinsung einschließlich Überschussbeteiligung beträgt 4,3%. Die Assetallokation beschränkt sich auf die drei Assetklassen Rentennamenspapiere, Aktien und Geldmarkt. Die Buchwertallokation wird konstant gehalten (90% Renten Namen, 5% Aktien und 5% Geldmarkt).

Es wurden für dieses Beispiel 2.500 Kapitalmarktszenarien erzeugt. Verwendet wurde ein 2-Faktoren Cox-Ingersoll-Ross Modell für den Zinsmarkt und ein nichtlineares Regressionsmodell für den Aktienmarkt. Bei beiden Modellen wurde auf Monatsbasis modelliert. Die Ausgabe der Kapitalmarktszenarien erfolgte sowohl mit monatlicher als auch mit jährlicher Periodenlänge. Die Ausgabe auf Jahresdaten (jährliche Periodenlänge) erfolgte dergestalt, dass die Zinsstrukturkurven jeweils am Jahresende und die Aktienperformance je Kalenderjahr mit der Ausgabe auf Monatsdaten (monatlicher Periodenlänge) übereinstimmten. Die Kapitalmarktszenarien wurden dann mit dem Unternehmensmodell zweimal getrennt verarbeitet. Bei der ersten Simulation erfolgte die Asset-Allokation monatlich (monatliche Dynamik) und bei der zweiten Simulation erfolgte die Asset-Allokation jährlich (jährliche Dynamik). Arbeitete das Unternehmensmodell monatlich und lagen die ESG-Daten als Jahresdaten vor, so wurden die erforderlichen Monatsdaten linear interpoliert.

Insgesamt ergaben sich durch die Kombination von Periodenlänge des Kapitalmarktmodells und der Dynamik der Asset-Allokation 4 Simulationskombinationen mit je 2.500 Szenarien.

- jährliche Periodenlänge (Frequenz) des Kapitalmarktmodells und jährliche Dynamik der Allokation
- monatliche Periodenlänge (Frequenz) des Kapitalmarktmodells und jährliche Dynamik der Allokation

- monatliche Periodenlänge (Frequenz) des Kapitalmarktmodells und monatliche Dynamik der Allokation
- jährliche Periodenlänge (Frequenz) des Kapitalmarktmodells und monatliche Dynamik der Allokation

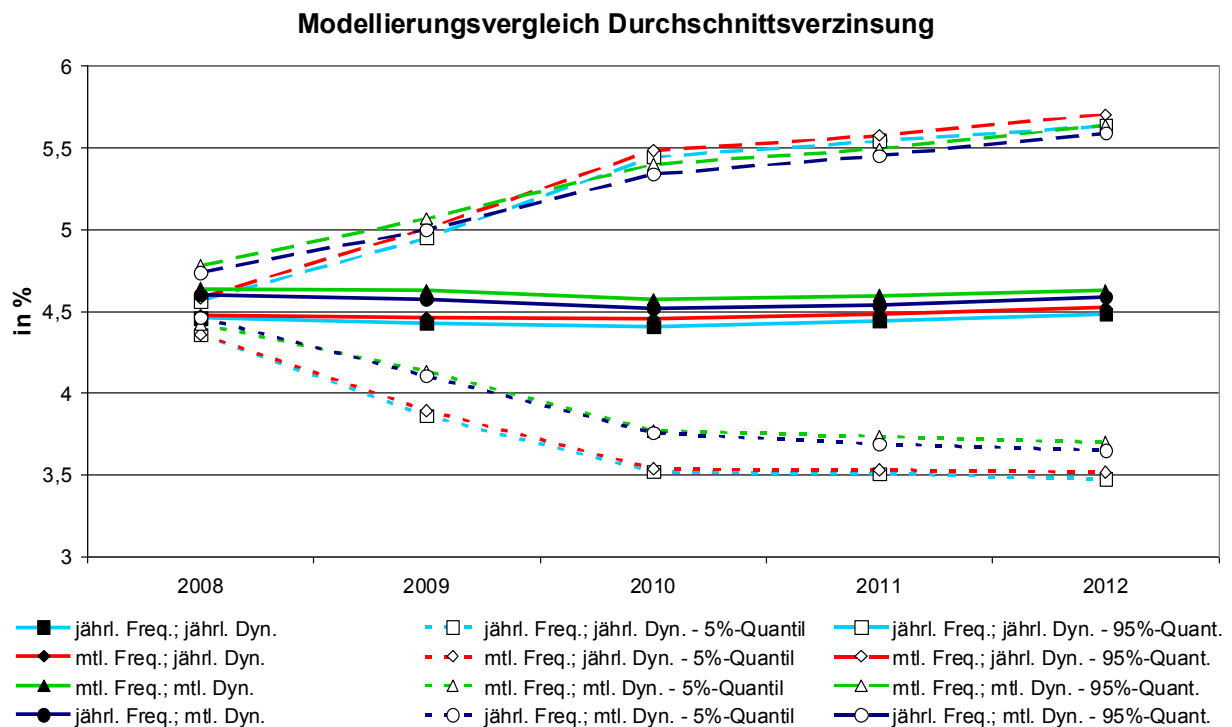


Abb. 4: Ausgewählte Quantilfächer zur Durchschnittsverzinsung bei unterschiedlicher Periodenlänge und Dynamik

In der obigen Abbildung ist die Entwicklung der Quantilfächer (5%, 50% und 95%) für die Durchschnittsverzinsung für die vier oben beschriebenen Simulationen dargestellt. Es ist besonders am 5%-Quantil deutlich zu erkennen, dass die Periodenlänge der Kapitalmarktmodellierung nur einen unbedeutenden Einfluss auf die Durchschnittsverzinsung hat. Der Einfluss des Dynamikintervalls auf die Asset-Allokation ist dagegen deutlich sichtbar. Das 5%-Quantil wurde durch monatliche Dynamik der Asset-Allokation (grüne und dunkelblaue gestrichelte Linien) um bis zu 22 Basispunkte (in 2010) gegenüber der Simulation mit jährlicher Dynamik (rote und hellblaue gestrichelte Linien) angehoben. Analoge Ergebnisse wie für die Durchschnittsverzinsung wurden auch für die Nettoverzinsung beobachtet.

In diesem Beispiel ist die Periodenlänge des ESG relativ unerheblich für die spätere Anwendung, wenn Verteilungsaussagen im Vordergrund stehen. Eine Ausgabe in Jahren erscheint vollkommen ausreichend.

Diese Aussage gilt ausdrücklich nur für die hier gewählten Managementregeln, die sehr einfach gehalten wurden. Bei differenzierter gestalteten Managementregeln muss die in diesem Beispiel erzielte Aussage so nicht zutreffend sein. Die Ausgestaltung von Managementregeln hat einen großen Einfluss auf das Modellierungsergebnis.

Gleichzeitig bestätigt dieses Beispiel, dass Unternehmenskennzahlen durch eine detaillierte Unternehmensmodellierung verbessert werden können.

Es ist zu beachten, dass sich diese Aussagen rein auf statistische Modellaussagen beziehen. Ein einzelner Simulationslauf unterscheidet sich im Ergebnis deutlich, je nachdem ob mit monatlichen oder jährlichen ESG-Daten gearbeitet wird. Die Unterschiede einzelner Simulationsläufe werden allerdings insgesamt wieder ausgeglichen.

A.3.2 Modellierung eines Musterunternehmens

In dem folgenden Beispiel soll dargestellt werden, wie anhand eines repräsentativen Portfolios eines fiktiven Versicherungsunternehmens die relevanten Risikofaktoren samt Assetklassen identifiziert werden könnten.

Das Portfolio des Versicherungsunternehmens habe folgende Gestalt:

Repräsentatives Portfolio		Anteil
Assetklassen	Aktien Deutschland	3%
	Aktien Europa	2%
	Aktien USA	1%
	Aktien Japan/Asien	1%
	Aktien Emerging Markets	1%
	Renten Euroland (Inhaberschuldverschreibungen)	20%
	Renten USA (Inhaberschuldverschreibungen)	5%
	Renten Namen	30%
	Hypotheken	10%
	Mezzanine Nachrang	2%
	Mezzanine Genüsse	5%
	Immobilien Deutschland	6%
	Immobilien Ausland	3%
	ABS/CLN	3%
	CDO	2%
	Hedge Fonds	3%
	Private Equity	2%
	Commodities	1%

Identifikation der Risikofaktoren

Eine Liste von möglichen Risikofaktoren samt repräsentativer Indizes für dieses Portfolio könnte wie folgt aussehen:

Risikofaktor	Beschreibung	mögliche Referenz
Zinsstrukturkurve Euroland	Entwicklung der (risikolosen) EUR-Zinssätze mit Laufzeiten von Overnight bis 30 Jahre	EUR Swap Rates bzw. EURIBOR-Sätze
Zinsstrukturkurve USA	Entwicklung der (risikolosen) USD-Zinssätze mit Laufzeiten von Overnight bis 30 Jahre	USD Swap Rates bzw. USD-Libor-Sätze
Aktienindex Europa	Entwicklung eines für Europa repräsentativen Aktienindex	Euro Stoxx 50
Aktienindex USA	Entwicklung eines für die USA repräsentativen Aktienindex	S&P 500
Aktienindex Welt	Entwicklung eines für die Welt repräsentativen Aktienindex	MSCI World
Credit Spreads	Entwicklung von Credit Spreads für verschiedene Ratingklassen	
Wechselkurs USD	Entwicklung eines Wechselkursmodells EUR zum US-Dollar	US-Dollar
Immobilienindex	Entwicklung eines repräsentativen Immobilienindex	
Hedge Fonds Index	Entwicklung eines repräsentativen Hedge Fonds Index	
Private Equity Index	Entwicklung eines repräsentativen Private Equity Index	
Commodity Index	Entwicklung eines repräsentativen Commodity Index	

Diese beispielhafte Liste ist das Ergebnis eines Identifikationsprozesses, dem die folgende Identifikationsmatrix zugrunde lag:

Repräsentatives Portfolio eines Versicherungsunternehmens mit unterliegenden Risikofaktoren

Assetklassen	Repräsentatives Portfolio												Risikofaktoren				
	Zinsstruktur- kurve Euroland	Zinsstruktur- kurve USA	Aktienindex Europa	Aktienindex USA	Aktienindex Welt	Credit Spreads	Wechsel- kurs USD	Immobilien- index	Hedge Fonds Index	Private Equity Index	Commodity Index						
Aktien Deutschland																	
Aktien Europa																	
Aktien USA																	
Aktien Japan/Asien																	
Aktien Emerging Markets																	
Renten Euroland (Inhaberschuld- verschreibungen)																	
Renten USA (Inhaberschuld- verschreibungen)																	
Renten Namen																	
Hypothesen																	
Mezzanine Nachrang																	
Mezzanine Genüsse																	
Immobilien Deutschland																	
Immobilien Ausland																	
ABS/CLN																	
CDO																	
Hedge Fonds																	
Private Equity																	
Commodities																	

Im nächsten Schritt sind die stochastischen Prozesse der Risikofaktoren zu spezifizieren.

Dabei dürfen die Interdependenzen zwischen den Einzelrisikofaktoren nicht außer Acht gelassen werden. Sie sind zu identifizieren und dann zu spezifizieren, bevor sie zu einem Gesamtmodell zusammengefügt werden.

In diesem Beispiel werden keine stochastischen Prozesse/Modelle explizit genannt, da

- kein Modell bevorzugt werden soll,
- kein implizites Urteil über die Modelle von Wettbewerbern gefällt werden soll,
- die Gefahr einer gleichgerichteten Anwendung von ESGs vermieden werden soll,
- der Detaillierungsgrad je nach Anwendung stark variieren kann
- und die Gefahr bestünde, dass die im Beispiel verwendeten Modelle als allgemeingültig betrachtet und nicht lediglich als Referenz angesehen werden.

A.4 Literaturhinweise

- [1] Etheridge, A. (2002), A course in financial calculus, Cambridge Press
- [2] Europäische Kommission (2009), Richtlinie Solvabilität II, <http://ec.europa.eu/>
- [3] CFO-Forum (2009), Market Consistent Embedded Value Principles, <http://www.cfoforum.eu>
- [4] Glasserman (2000), Paul, Heidelberger, Philip und Shahabuddin, Efficient Monte Carlo Methods for Value-at-Risk, In: Mastering Risk, Band 2, Financial Times – Prentice Hall
- [5] Szechtman (2003) Control Variates Techniques for Monte Carlo Simulation, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, Hrsg. S. Chick, P.J. Sánchez, D. Ferrin and D.J. Morris
- [6] Rinne (2003), Taschenbuch der Statistik, Verlag Harri Deutsch
- [7] Hartung, J., Elpelt, B., Klösener, K.-H. (2002), Statistik, Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, S. 236, 13. Auflage, Oldenbourg Verlag
- [8] Thorsten Schmidt, Zinsstrukturmodelle, Vorlesungsskript Universität Leipzig, Wintersemester 2004-2005, www.math.uni-leipzig.de/~tschmidt/FM_skriptWS04_05.pdf, Seite 10 ff
- [9] Tin-Kwai Man, Neue Aspekte der Portfolio-Optimierung und der Modellierung von Bondindizes, Dissertation der TU Kaiserslautern, 2007, <http://kluedo.ub.uni-kl.de/volltexte/2007/2106/>, Seite 95 ff
- [10] Blanchard, O (2006), Macroeconomics, 4. Auflage, Prentice Hall Business Publishing
- [11] Volker Nitsch, Michael Graff, Christian Müller, Aussenwirtschaft, ETH Zürich Sommersemester 2007, Foliensatz zur Vorlesung, <http://www.vwl.ethz.ch/Aussenwirtschaft/Folien/070320Aussenwirtschaft.ppt>, Abschnitt Bestimmungsgründe des Wechselkurses II
- [12] Lütkepohl et. al. (2004), Applied Time Series Econometrics, Cambridge University Press
- [13] Davidson, R., MacKinnon, J.G. (2004), Econometric Theory and Methods, Oxford University Press
- [14] Solvabilitätsverordnung (2006) Verordnung über die angemessene Eigenmittelausstattung von Instituten, Institutgruppen und Finanzholding-Gruppen. Bundesministerium der Finanzen
- [15] Corradi, V., Swanson, N.R. (2006) Predictive Density Evaluation, Handbook of Economic Forecasting, Chapter 5, vol.1, pp. 197-284.
- [16] Bafin (2017), Rundschreiben R 2/2017 (VA) (MaGo), <http://www.bafin.de>

- [17] Diebold, F.X., T. Gunther and A.S. Tay (1998) Evaluating Density Forecasts with Applications to Finance and Management, *International Economic Review*, 39, 863-883
- [18] Diebold, F.X., J. Hahn and A.S. Tay (1999) Multivariate Density Forecast Evaluation and Calibration in Financial Risk Management: High Frequency Returns on Foreign Exchange, *Review of Economics and Statistics*, 81, 661-673
- [19] Diebold, F. X., A.S. Tay and K.D. Wallis (1998) Evaluating Density Forecasts of Inflation: The Survey of Professional Forecasters, in *Festschrift in Honor of C.W.J. Granger*, eds. R.F. Engle and H. White, Oxford University Press, Oxford.
- [20] Glasserman P. (2003), Monte Carlo Methods in Financial Engineering, Springer
- [21] Zenger, C. (1991), Sparse Grids. In Parallel Algorithms for Partial Differential Equations (W. Hackbusch, ed.), Vol. 31 of Notes on Numerical Fluid Mechanics, Vieweg Verlag.
- [22] CEIOPS (2008), Quantitative Impact Study 4, <http://www.ceiops.eu>
- [23] Jaquemod R. et. al. (2005), Stochastische Unternehmensmodelle für deutsche Lebensversicherungen, Abschlussbericht der DAV-Arbeitsgruppe, Verlag Versicherungswirtschaft GmbH Karlsruhe
- [24] Versicherungsaufsichtsgesetz (VAG), <http://www.bafin.de>
- [25] Cottin, C. et al. (2007), „Auf was reagieren die Kunden wirklich - eine empirische Analyse des Einflusses der Überschussbeteiligung auf Neugeschäft und Storno. Versicherungswirtschaft 21 (2007), 1772-1774 und 22, 1876-1880]
- [26] Hull, John C.: Optionen, Futures und andere Derivate (2009) 7. Aufl.: Pearson Studium, München.
- [27] DAV Fachgrundsatz (Hinweis, 27. Januar 2011) „Kalibrierung in inaktiven Marktsegmenten“
- [28] DAV Fachgrundsatz (Hinweis, 26. Januar 2010) „Best Estimate in der Lebensversicherung“