

# Das interne Modell der Feldafinger Brandkasse goes R



von Benjamin Panahi, Viktor Sandor, Imrane Tola

■ In diesem Artikel wird zum einen die Entwicklung eines Economic Scenario Generators zum anderen die Umsetzung des gesamten internen Modells der Feldafinger Brandkasse (FFBK) in R beschrieben. So erhält die FFBK ein vollständiges internes Modell in einer Open-Source-Programmierung.

■ *In der DAV ist die Feldafinger Brandkasse (FFBK) ein fiktives Versicherungsunternehmen, das von der DAV Arbeitsgruppe Risikomodelle Schaden-/Unfall entwickelt wurde. Bekannt geworden ist die FFBK unter anderem durch eine Artikelserie zum internen Modell, die regelmäßig in der Mitgliederzeitschrift „DAV Journal“ erscheint. Alle Artikel finden sich auf der Seite <https://bit.ly/3OAmTIW>.*

**D**as interne Modell der FFBK ist mit einer kommerziellen Software erstellt, Interessierte können damit nur arbeiten, wenn Sie Zugang zu dieser Software haben. Bereits 2018 wurde die Programmierung des internen Modells in einer Masterarbeit in der freien Programmiersprache R nachgebildet, vgl. Panahi [Pa 18] und in einer Kooperation mit der Technischen Hochschule Rosenheim (THRO) weiterentwickelt. Das interne Modell in R wurde um einen Economic Scenario Generator (ESG) erweitert, der das Marktrisiko frei simulieren soll. Es werden Szenariensätze für Zinsstrukturkurven, Credit/Spreads sowie Aktien- und Immobilienrenditen generiert. Die Umsetzung dieser Erweiterung erfolgte ebenfalls in R.

Für das interne Modell und dem ESG wurden zwei R-Pakete entwickelt, THRO.FFBK und THRO.FFBK.ESG. Sie stellen eine wesentliche Grundlage für die Nutzung und fortlaufende Entwicklung des Modells dar.

In diesem Artikel geben wir noch einmal einen kurzen Überblick über die Schlüsselkomponenten des internen Modells der FFBK sowie ihre praktische Umsetzung in der Programmiersprache R.

### Das interne Modell

Das interne Modell der FFBK wurde von Diers et al. [DABGHL 12, S. 130-136] und Kortebein et al. [K 08] beschrieben. Die FFBK ist ein Kompositversicherer, der die Versicherungssparten Kraftfahrt-Haftpflicht, Gebäudeversicherung und Transport betreibt.

Die für die FFBK zentralen/wesentlichen Risiken (angelehnt an die Solvency-II-Klassifizierung) sind die Marktrisiken (speziell Spread- und Zinsänderungsrisiken), die versicherungstechnischen Risiken, das Ausfallrisiko (speziell: aus Rückversicherung) und die operationellen Risiken. Auf diese Risiken zielt die FFBK im Rahmen ihrer Risikomanagementstrategie ab.

Dementsprechend hat sich die FFBK zur Risikomodellierung bei der technischen Umsetzung auf die folgenden Module fokussiert: das Investmentmodul, das versicherungstechnische Modul, das Rückversicherungsausfallrisikomodul und das operationelle Risikomodul. In den verschiedenen Modulen werden die Bausteine durch die Modellierung und Simulation von diskontierten Cashflows bzw. Barwerten abgebildet. Diese fließen ins Auswertungsmodell ein, wo sie zu Ergebnisverteilungen für die einzelnen Risikokategorien zusammengeführt werden. Basierend auf diesen zentrierten Ergebnisverteilungen erfolgt die Bestimmung des Risikokapitals als Value-at-Risk zum Niveau 99,5 % für die einzelnen Risikokategorien sowie für das gesamte Unternehmen.



### Investmentmodul des internen Modells der THRO

Das Investmentmodul ist entscheidend für die Modellierung des Marktrisikos auf der Aktivseite und für die Simulation der Marktwerte der Investments. Das Marktrisiko der FFBK umfasst Zins-, Credit/Spread-, Aktien- und Immobilienrisiken. Das Kapitalanlageportfolio der FFBK besteht zu etwa 88 % aus festverzinslichen Wertpapieren verschiedener Laufzeiten und Bonitäten, ergänzt durch Investitionen in Aktien und Immobilien (vgl. Hille et al. [HBK 17, Seite 206]).

Die Bewertung dieser Risiken erfolgt mittels Szenarien, die von einem ESG erzeugt werden. Es werden die Auswirkungen der Szenarien (Zinskurven, Spreads, Aktienindizes, Immobilienindizes) auf die Markt- und Buchwerte der Vermögenswerte/Kapitalanlagen und auch Verbindlichkeiten (wie im Falle des Zinsänderungsrisikos) modelliert. Anhand der Veränderung der Werte lassen sich die zugrunde liegenden Risiken bewerten. Für die Analyse dieser Vermögenswerte in R wurde nun das R-Paket THRO.FFBK.ESG entwickelt. Dieses Paket unterstützt nicht nur die Modellierung und Simulation von Zinsstrukturkurven, Credit/Spreads sowie Aktien- und Immobilienrenditen, sondern ermöglicht auch die Schätzung von Modellparametern für das Short-Rate-

Modell (Zwei-Faktor-Modell von Hull-White) und bietet Funktionen zur Überprüfung der generierten Szenarien.

Die folgenden Abschnitte vertiefen die mathematischen Konzepte, die für die Kalibrierung, Modellierung und Validierung in R notwendig sind. Diese Konzepte bilden das Fundament, auf dem das THRO.FFBK.ESG-Paket aufbaut. Es wurden Funktionen programmiert, mit denen die Nutzer Modelle anpassen, kalibrieren und validieren können.

### Modellierung von Zinsen, Aktien und Immobilien

Für die präzise Modellierung von Zinsstrukturkurven sind Short-Rate-Modelle essenziell. Das Zwei-Faktor-Modell von Hull-White wird häufig eingesetzt, da es Korrelationen zwischen Zinskurven unterschiedlicher Laufzeiten berücksichtigt und arbitragefrei ist. Diese Eigenschaften machen es zu einem bevorzugten Modell für die Analyse und Prognose von Zinsstrukturkurven. Eine ausführliche Beschreibung ist in Korn und Demestre [DK 18, S. 188 ff.] oder Brigo und Mercurio [BM 06, Chapter 4] zu finden.

Im Zwei-Faktor-Modell von Hull-White wird die kurzfristige Zinsrate  $r(t)$  als Summe zweier stochastischer Prozesse  $x(t)$  und  $y(t)$  sowie einer deterministischen Funktion  $\varphi(t)$  dargestellt:

$$r(t) = x(t) + y(t) + \varphi(t), r(0) = r_0.$$

Die stochastischen Prozesse  $x(t)$  und  $y(t)$  modellieren zufällige Schwankungen der Zinssätze, die deterministische Funktion  $\varphi(t)$  erlaubt es, das Modell an die anfänglich beobachtete Zinsstrukturkurve anzupassen. Dadurch wird eine konsistente und realistische Modellierung der Zinsentwicklung gewährleistet.

Die Dynamiken der stochastischen Prozesse  $x(t)$  und  $y(t)$  werden durch die folgenden stochastischen Differentialgleichungen beschrieben:

$$dx(t) = -ax(t)dt + \sigma dW_1(t), x(0) = 0$$

$$dy(t) = -by(t)dt + \eta dW_2(t), y(0) = 0.$$

Hierbei stellen die Modellparameter  $a$  und  $b$  die Geschwindigkeiten dar, mit denen die Prozesse  $x(t)$  und  $y(t)$  zu ihrem Mittelwert zurückkehren, die sogenannte Mean-Reversion-Rate, während  $\sigma$  und  $\eta$  die Volatilitäten der Prozesse darstellen. Die Korrelation zwischen den beiden Brownschen Bewegungen  $W_1$  und  $W_2$  wird durch

$$\text{corr}(W_1(t), W_2(t)) = \rho, t > 0$$

ausgedrückt, wobei  $\rho \in [-1, 1]$  den Korrelationskoeffizienten angibt.

Für die Modellierung der Renditen von Aktien und Immobilien wird ebenfalls ein stochastischer Prozess verwendet, speziell die Brownsche Bewegung, die durch folgende Gleichung charakterisiert wird:

$$dR(t) = \mu dt + \sigma dW(t).$$

Hierbei stellt  $R(t)$  die Rendite zum Zeitpunkt  $t$  dar,  $\mu$  die Driftrate,  $\sigma$  die Volatilität und  $dW(t)$  das Inkrement der Brownschen Bewegung.

Die Modellierung des Credit/Spreads erfolgt ratingabhängig und basiert auf dem folgenden Modell vgl. [TDR 02, Seite 8]:

$$Z_t = (1 - DP) \cdot 1 + DP \cdot RR,$$

wobei  $Z_t$  die erwartete Zahlung,  $DP$  die Defaultwahrscheinlichkeit und  $RR$  die Recovery Rate, also der Prozentsatz des Wertes, der im Falle eines Defaults noch zurückgewonnen werden kann. Der Credit/Spread  $CS_t$  zum Zeitpunkt  $t$  wird durch

$$CS_t = (1 + r_t) \cdot \left( Z_t^{-\frac{1}{t}} - 1 \right)$$

bestimmt, wobei  $r_t$  den risikofreien Zinssatz angibt.

### Kalibrierung der Finanzmarktmodelle

Die Kalibrierung ist ein essenzieller Schritt in der Anwendung von Finanzmodellen, bei dem es um die Schätzung von Modellparametern geht. Dabei versucht man sicherzustellen, dass das Modell die Marktdaten möglichst genau widerspiegelt.

Im Spezialfall des Zwei-Faktoren-Modells von Hull-White werden die Modellparameter durch Minimierung der quadratischen Abweichungen zwischen den theoretischen Modellpreisen und den beobachteten Marktpreisen von Finanzinstrumenten, wie Caps, festgelegt. Dieser Prozess erfordert den Einsatz numerischer Methoden, da er auf die Lösung von Optimierungsproblemen mit dünnbesetzten nicht linearen Systemen hinausläuft. Mathematisch lässt sich das Minimierungsproblem darstellen durch:

$$\underset{(a,b,\eta,\rho)}{\text{argmin}} \sum_{T \in \tau} (P_{\text{Modell}}(0, T, \tau, N, X) - P_{\text{Market}}(0, T))^2.$$

Hierbei bezeichnet  $P_{\text{Modell}}(0, T, \tau, N, X)$  den Modellpreis eines Caps, wobei  $T = \{T_0, T_1, \dots, T_n\}$  die Zahlungs-

zeitpunkte,  $\tau = \{\tau_1, \dots, \tau_n\}$  der Jahresbruchteil,  $N$  das Nominal und  $X$  der Strike ist. Die expliziten Modellpreise und eine ausführliche Erläuterung sind in Brigo, Mercurio [BM 06, Seite 157] zu finden. Der Term  $P_{\text{Market}}(\mathbf{0}, T)$  stellt entsprechend den Marktpreis des Caps zum Zeitpunkt  $T$  dar.

In dem THRO.FFBK.ESG-Paket wurde die Schätzung der Modellparameter unter Verwendung von Marktdaten aus Matlab [Ma] durchgeführt.

Die Parameter der Brownschen Bewegung, Drift  $\mu$  und Volatilität  $\sigma$ , werden durch Maximum Likelihood-Schätzung ermittelt, mit den Schätzern

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n \cdot t} \sum_{i=1}^n x_i \text{ und } \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot t} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2}.$$

Für die Schätzung der Modellparameter für die Aktienrenditen wurde der MSCI World Index [MSCI] für den Zeitraum 02.01.2009 bis 29.09.2023 verwendet. Die Modellparameter der Immobilienrenditen wurden anhand des Fidelity MSCI Real Estate Index [MSCI RE] (Zeitraum: 01.03.2015 bis 09.01.2024) geschätzt.

### Validierung der Finanzmarktmodelle

Nach der Generierung der Szenariensätze ist es entscheidend, deren Validität zu überprüfen, um sicherzustellen, dass sie realistische und plausible zukünftige Marktentwicklungen widerspiegeln. Diese Überprüfung, bekannt als Validierung, ist ein wichtiger Schritt, um die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der generierten Szenarien zu gewährleisten.

Eine gängige Methode zur Überprüfung der Validität von Szenariensätzen ist der Martingaltest. Der Martingaltest überprüft, ob die diskontierten Preise der zukünftigen Cashflows unter dem generierten Szenario einem Martingal folgen, das heißt, der erwartete zukünftige Preis, gegeben die heutigen Informationen, entspricht dem heutigen Preis.

Der Martingaltest kann mathematisch wie folgt dargestellt werden (vgl. [DAV 15, Seite 16]):

$$ZCB_{t_i - t_0 + k}(t_0) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n ZCB_k(t_i, s_j) D(t_i, s_j).$$

Dabei ist  $ZCB_k(t_i, s_j)$  der Preis einer Nullkuponanleihe zum Zeitpunkt  $t_i$  mit der Laufzeit  $k$  unter dem Szenario  $s_j$

und  $D(t_i, s_j)$  der Diskontierungsfaktor. Der Marktwert in  $t_0 = 0$  der Nullkuponanleihe mit der Laufzeit  $t_i - t_0 + k$  ist demnach  $ZCB_{t_i - t_0 + k}(t_0)$ .

Bestehen die Szenarien den Martingaltest, so kann davon ausgegangen werden, dass sie in sich konsistent sind und keine systematischen Verzerrungen oder Arbitragemöglichkeiten enthalten. Der Test gilt als bestanden, wenn der berechnete Durchschnitt für alle Projektionszeitpunkte und der Wert 1 innerhalb eines Akzeptanzintervalls liegen.

### Das interne Modell der FFBK: weitere Module

In den nächsten Abschnitten werden die weiteren Module beschrieben, wie sie beim internen Modell der FFBK bereits implementiert waren und im THRO.FFBK-Paket in R programmiert wurden.

### Das versicherungstechnische Risiko

Im Rahmen des Prämienrisikos (zunächst Brutto vor Rückversicherung) werden die folgenden Schadenarten pro Sparte modelliert:

- Kraftfahrt-Haftpflicht: Basis- und Großschäden
- Gebäudeversicherung: Basis- und Katastrophenschäden
- Transportversicherung: Basis-, Groß- und Katastrophenschäden

Wie bereits in Diers et al. [DABGHL 12, Seite 132] beschrieben, setzt sich das versicherungstechnische Risiko aus dem Prämien- und Reserverisiko zusammen. Die Modellierung des **Prämienrisikos** erfolgt spartenspezifisch. Es wird eine Lognormalverteilung für die Basisschäden sowie ein kollektives Großschadenmodell verwendet. Die Schadenhöhe der Großschäden folgt einer Pareto-Verteilung und die Anzahl der Schäden einer Poisson-Verteilung. Schäden durch Naturkatastrophen wurden im internen Modell nicht direkt modelliert, sondern lediglich als externe Daten eingeführt. Als Risikoabsicherung setzt die FFBK ausschließlich nicht proportionale Rückversicherungsverträge ein, speziell Schadenexzedentenverträge (XL). Bei den Katastrophenschäden wirken die Verträge auf das Kumulereignis (also die akkumulierte Schadenlast des Katastropheneignisses, sog. Cat-XLs), bei den Großschäden auf den Einzelschaden. Die Modellierung des **Reserverisikos** basiert auf dem Bootstrapping-Verfahren nach Mack, das die ultimative Sichtweise abdeckt. Das einjährige Reserverisiko wird darauf aufbauend durch Re-Reserving bestimmt.

Schließlich zielt das Modul für das versicherungstechnische Risiko darauf ab, die Reserven und diskontierten

versicherungstechnischen Cashflows (Prämien, Kosten, Schadenzahlungen) vor und nach Rückversicherung zu simulieren. Dies ermöglicht eine präzise Bewertung und effiziente Steuerung der versicherungstechnischen Verbindlichkeiten sowie eine Analyse und Bewertung der Rückversicherungsstrategie.



## Literaturverzeichnis

[BDHLSW 16] Brüske, S., Diers, D., Hille, B., Leyherr, U., Schaefer, M., Wiedebusch, S.: Bericht über die Solvabilität und Finanzlage (SFCR) 2016

[BM 06] Brigo, D., Mercurio, R.: Interest Rate Models – Theory and Practice, Second Edition, Springer, 2006

[DK 18] Desmettre, S., Korn, R.: Moderne Finanzmathematik – Theorie und praktische Anwendung, Band 2, Springer-Spektrum, 2018

[DABGHL 12] Diers, D., Ackermann, P., Brüske, S., Gürtler, N., Hille, B., Leyherr, U.: Das interne Modell der Feldafinger Brandkasse, Der Aktuar, 03.2012, S. 130–136, Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe

[DAV 15] Ausschuss Investment der DAV: Zwischenbericht zur Kalibrierung und Validierung spezieller ESG unter Solvency II, November 2015, Köln

[HBK 17] Hille, B., Brüske, S., Kuhn, C.: Strategische Asset-Allokation bei der Feldafinger Brandkasse, Der Aktuar 04.2017, S. 206–211

[K 08] Kortebein, Christian et al.: DAV-Arbeitsgruppe Interne Risikomodelle (Hrsg.) (2008): Interne Risikomodelle in der Schaden-/Unfallversicherung, Schriftenreihe Versicherungs- und Finanzmathematik. Band 35, 2008

[Ma] Matlab: Prepayment Modeling with a Two Factor Hull White Model and a LIBOR Market Model, <https://de.mathworks.com/help/fininst/prepayment-modeling-with-a-two-factor-hull-white-model.html>

[MJ 87] Martínez, J. M.: An algorithm for solving sparse non-linear least squares problems. 39(4), S. 307–325. <https://doi.org/10.1007/BF02239974>

[MSCI] MSCI WORLD (^990100-USD-STRD) Stock Historical Prices & Data - Yahoo Finance

[MSCI RE] Fidelity MSCI Real Estate Index ETF (FREL) Stock Historical Prices & Data - Yahoo Finance

[Pa 18] Panahl, B.: Interne Risikomodelle in der Schaden-/Unfallversicherung am Beispiel der Feldafinger Brandkasse – Umsetzung in R, Masterarbeit Hochschule München, 2018

[So 14] Sommerfeld, F.: Model Change bei der Feldafinger Brandkasse, Der Aktuar, 02.2014, S. 4–7, Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe

[TDR 02] Trück, S., Deidersen, J., Rachev, S. T.: Default Recovery Rates – Theoretische Modellierung und empirische Studien, 2002

## Rückversicherungsausfallrisiko

Wie aus [So 14] hervorgeht, wird das Rückversicherungsausfallrisiko bereits seit dem Jahr 2014 im internen Modell der FFBK berücksichtigt. Das Rückversicherungsausfallrisiko wird stochastisch und anhand eines ratingbasierten Modells simuliert, wobei der Fokus ausschließlich auf dem Ausfall der Reserven liegt, vgl. Brüske et al. [BDHLSW 16, Seite 30]. Das Modell nimmt an, dass ausschließlich die zedierten Rückstellungen Ausfallrisiken unterliegen, während die zedierten Schadenzahlungen im kommenden Kalenderjahr nicht von einem Ausfall betroffen sind. Das Rückversicherungsausfallrisiko setzt sich aus zwei Hauptkomponenten zusammen: dem erwarteten Ausfall (Expected Default) in Abhängigkeit des Ratings und dem spezifischen Ausfallrisiko pro Rückversicherer. Für die Abschätzung des Rückversicherungsausfallrisikos wird eine approximative Ausfallverteilung der zedierten Rückstellungen simuliert. Auf Basis dieser Simulation kann das Rückversicherungsausfallrisiko quantifiziert werden.

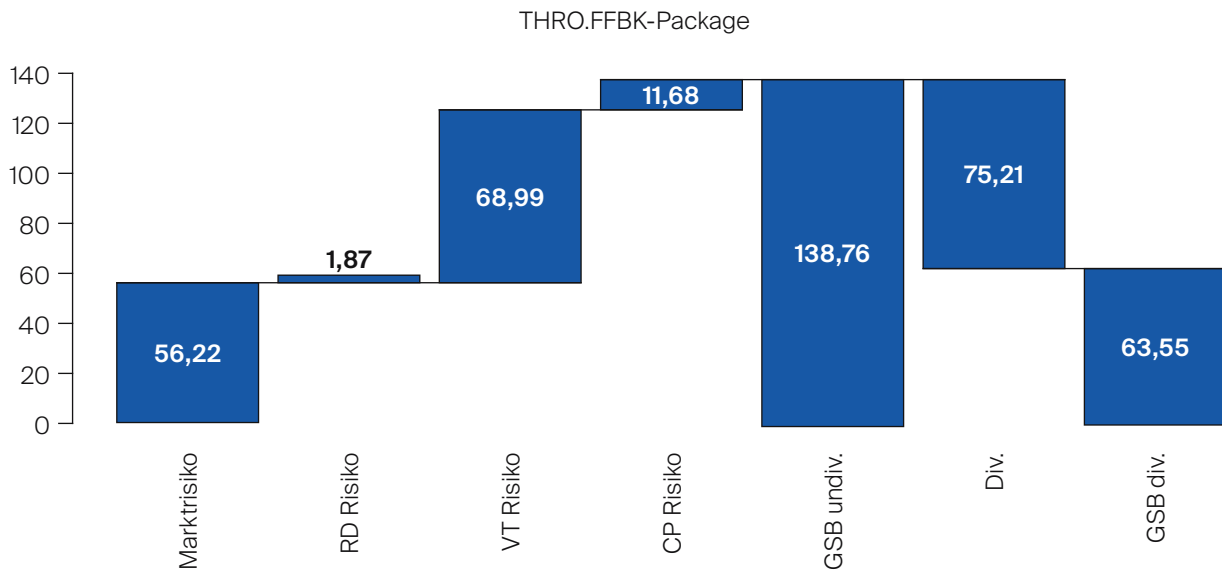
## Operationelles Risiko

Das Modul für operationelles Risiko zielt darauf ab, den monetären Schaden infolge operationeller Verlustfälle (z. B. Betrug, IT, Schäden an physischen Vermögenswerten) im Unternehmen zu simulieren. Im ersten Schritt werden die Abhängigkeiten innerhalb des operationellen Risikos, d. h. zwischen den Event-Typen modelliert. Die risikoubergreifenden Abhängigkeiten werden generell (trifft auch auf alle anderen Risiken zu) erst im nächsten Aggregationsschritt hinzugefügt. Die Kalibrierung der Verteilungen erfolgt mittels Expertenbefragungen. Die Expertenschätzungen (Eintrittswahrscheinlichkeiten, minimale und maximale Ausprägungen der Risiken) werden in Verteilungsparameter für kollektive Modelle übersetzt, vgl. Diers et al. [DABGHL 12, Seite 135]. Wo es möglich war, wurden ebenfalls die Erwartungswerte festgelegt, um eine umfassende Bewertung des operationellen Risikos zu gewährleisten.

## Auswertungsmodell

Im Auswertungsmodell der FFBK werden die Outputs der vorherigen Module weiterverarbeitet und aggregiert. Speziell betrachtet das Modell die Risiken, die aus dem Alt- und Neugeschäft entstehen. Dabei werden einerseits die versicherungstechnischen Risiken und andererseits die Zinsänderungsrisiken, die aus dem Alt- und Neugeschäft resultieren, analysiert. Die Berechnung dieser Risiken und der entsprechenden Ergebnisverteilungen folgt einem festgelegten Formelsatz zur Aufteilung der Risikokomponenten.

**Abb. 1** Aufteilung der Risikokapitalien (Value at Risk 99,5 %) der FFBK in Millionen Euro auf die Oberkategorien Marktrisiko, Rückversicherungsausfallrisiko (RD Risiko), versicherungstechnisches Risiko (VT Risiko), operationelles Risiko (OP Risiko) sowie dem Gesamt RBC undiversifiziert bzw. diversifiziert (GSB undiversifiziert bzw. diversifiziert) und der Diversifikation (Div.). Dargestellt sind die Ergebnisse mit dem THRO.FFBK Package. Darstellung in Anlehnung an [DABGHL 12, S. 131].



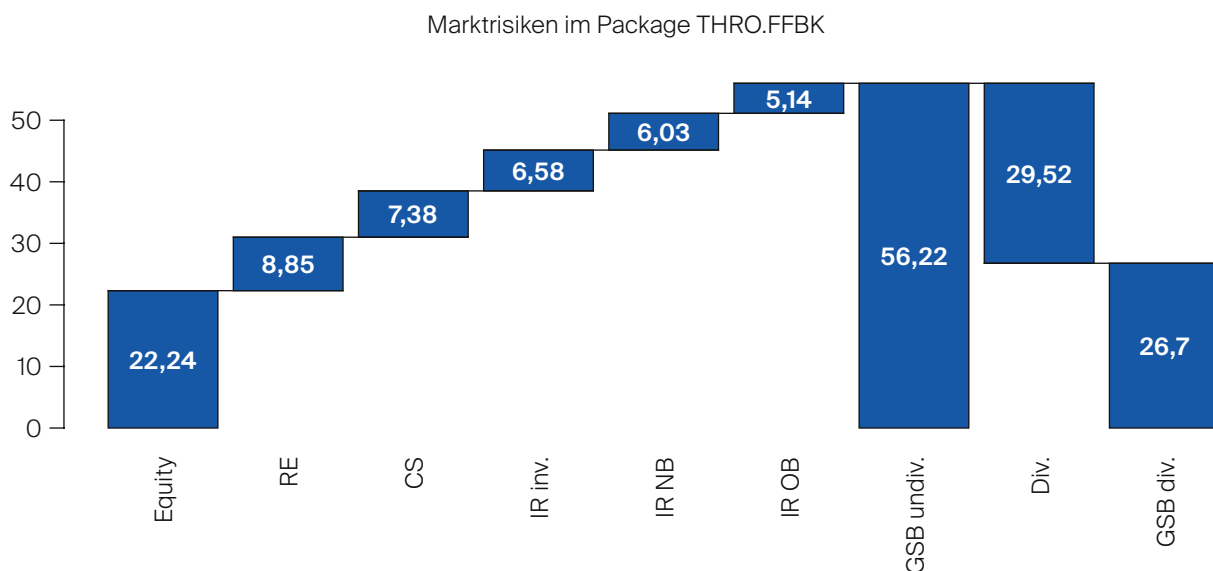
Bei der Differenzierung der Risiken aus dem Alt-/Neugeschäft wird ein Kreuzterm (Mixedrisk) identifiziert, der sich nicht direkt einer der Hauptkomponenten zuordnen lässt. Zudem wird das daraus resultierende Zinsänderungsrisiko modelliert. Abschließend erfolgt die Überführung zu den zentrierten Ergebnisverteilungen der einzelnen Risikokategorien. Dieser Schritt dient nicht nur der Aggregation der Risikokategorien, sondern bereitet

auch die Grundlage für die Allokation des Risikokapitals vor.

#### Implementierung des internen Modells der Feldafinger Brandkasse im R-Paket THRO.FFBK

Das interne Modell der FFBK ist im R-Paket THRO.FFBK implementiert. Dieses Paket führt Berechnungen für alle vier Hauptrisikomodule aus einjähriger Sichtweise durch, für die

**Abb. 2** Risikokapitalien in Millionen Euro für verschiedene Risikokategorien wie Aktienrisiko (Equity), Immobilienrisiko (RE), Credit/Spread-Risiko (CS), Zinsänderungsrisiko für Investments (IR Inv), Neugeschäft (IR NB) und Altgeschäft (IR OB) sowie den Gesamtsolvabilitätsbedarf undiversifiziert (GSB undiv), Diversifikation (Div) und diversifiziert (GSB div). Es wurden die Kalibrierungsdaten am Ende des Abschnitts „Kalibrierung der Finanzmarktmodelle“ verwendet



Versicherungstechnik auch aus ultimativer Sichtweise. Eine Erweiterung des THRO.FFBK-Pakets umfasst den ökonomischen Szenariogenerator, der durch die Verbindung zum THRO.FFBK.ESG-Paket realisiert wurde.

Die Verwendung des Pakets THRO.FFBK setzt die Eingabe spezifischer Daten voraus; für jedes Risikomodul sind entsprechende Inputdaten erforderlich. Beispielsweise müssen für die Modellierung des Altgeschäfts im versicherungstechnischen Modul Abwicklungsdreiecke pro Sparte, mittlere Abwicklungsmuster, Rangkorrelationen und spartenspezifische Rückversicherungsfaktoren eingelesen werden. Mit der korrekten Eingabe dieser Daten ermöglicht das R-Paket eine präzise Bewertung und effektive Steuerung der Risiken innerhalb des Versicherungsunternehmens.

Das THRO.FFBK.-Paket liefert das Risikokapital für einzelne Risikokategorien wie Prämienrisiko, Reserverisiko, Rückversicherungsausfallrisiko usw. sowie für das Gesamtunternehmen. Neben dem Risikokapital können auch weitere Kenngrößen und Zwischenergebnisse der vier Hauptrisikomodule ausgegeben werden, z. B. Ergebnisverteilungen, Quantile usw.

### Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des THRO.FFBK-Pakets dargestellt. Das Modell liefert Größen, die dem internen Modell der FFBK entsprechen, das von Panahi in R nachprogrammiert wurde, vgl. [Pa 18]. Dabei wurde das Kapitalmarktmodell an die aktuellen Entwicklungen der Kapitalmärkte angepasst.

In Abbildung 1 wird die Aufteilung der Risikokapitalien auf die Oberkategorien des Modells bei einem Simulationslauf mit je 10.000 Simulationen dargestellt.

Abbildung 2 illustriert die Risikokapitalien der einzelnen Risikokategorien im Bereich der Marktrisiken.

### Ausblick

Die Pakete THRO.FFBK und THRO.FFBK.ESG werden zunächst der DAV-Arbeitsgruppe Risikomodelle Schaden-/Unfall zur Verfügung gestellt. Es ist jedoch geplant, diese zukünftig über CRAN bzw. Github zu veröffentlichen, sodass sie dann allen Interessenten zugänglich sein

werden. Damit könnte das interne Modell der FFBK auch in der Aus- und Weiterbildung bei der DAV eingesetzt werden.

Danksagung: Die Autoren danken der DAV-Arbeitsgruppe Risikomodelle Schaden-/Unfall für hilfreiche Gespräche und Hinweise.



## Über die Autoren



### → Benjamin Panahi

Benjamin Panahi hat an der TH Rosenheim Wirtschaftsmathematik-Aktuarwissenschaften (B. Sc.) und an der Hochschule München Stochastic Engineering in Business and Finance (M. Sc.) studiert. Als Analyst bei der Allianz Re im Cat Risk Management ist er für die Betreuung und Entwicklung des internen Modells für Naturkatastrophen der Allianz Gruppe zuständig.



### → Prof. Dr. Viktor Sandor

Viktor Sandor ist Professor für Mathematik an der TH Rosenheim und leitet den Studiengang Wirtschaftsmathematik Aktuarwissenschaften. Er ist Aktuar DAV und ist in der Aus- und Weiterbildung der DAV aktiv.



### → Imrane Tola

Imrane Tola ist als Mathematikerin in der Versicherungstechnik Komposit bei der Versicherungskammer Bayern tätig. Der Schwerpunkt ihrer Arbeit liegt in der Konzeption, Entwicklung und Betreuung von Tarifmaschinen. Frau Tola absolvierte ihr Bachelorstudium an der Technischen Hochschule Rosenheim in der Studienrichtung Wirtschaftsmathematik-Aktuarwissenschaften und setzte ihre akademische Laufbahn mit einem Masterstudium in Mathematical Finance and Actuarial Science an der Technischen Universität München fort.