The image features a light blue grid background with three overlapping normal distribution curves. The curves are centered at the same point but have different widths and heights. The largest curve is the lightest blue, the medium one is a medium blue, and the smallest is the darkest blue. The mathematical formula for the normal distribution is displayed in white text across the center of the image.
$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

# Auf nach Monte Carlo

## Simulationsverfahren zur Risiko-Aggregation

Zielsetzung der Risiko-Aggregation ist die auf die Risiko-Analyse aufbauende Bestimmung des Gesamtrisikoumfangs. Mit der Monte-Carlo-Simulation als wichtigstes Verfahren der Risiko-Aggregation wird anhand eines Fallbeispiels erklärt, wie Risiken aggregiert und daraus Eigenkapitalbedarf, Rating und Kapitalkostensätze bestimmt werden können.

Das Eigenkapital und die Liquiditätsreserven sind das Risiko-Deckungspotenzial eines Unternehmens, weil sie sämtliche risikobedingten Verluste zu tragen haben. Um die Angemessenheit der Eigenkapitalausstattung bestimmen zu können, sind mithin Risiko-Aggregations-Verfahren erforderlich, die mehr leisten, als identifizierte und bewertete Risiken einfach zu addieren. Mit Hilfe solcher Risiko-Aggregations-Verfahren ist es auch möglich, die Angemessenheit der Rating-Einstufung durch die Hausbank gemäß Basel II, die sich ja letztlich auch auf einen Vergleich des Gesamtrisikoumfangs und der Risiko-Tragfähigkeit eines Unternehmens stützt, kritisch zu hinterfragen.

### Grundlagen der Risikoaggregation

Risiko-Aggregations-Verfahren für Unternehmen basieren im Grundsatz auf einer Integration der identifizierten und quantitativ bewerteten Risiken in den Kontext der Unternehmensplanung. Risiken werden dabei als Ursachen für mögliche Abweichungen von den geplanten bzw. erwarteten Werten aufgefasst. Zu diesem Zweck werden Risiken als Überbegriff für positive wie negative Abweichungen (Chancen bzw. Gefahren) interpretiert.

Eine Voraussetzung für die Bestimmung des „Gesamtrisikoumfangs“ mittels Risiko-Aggregation stellt die Verbindung von Risiken und Unternehmensplanung dar (vgl. Abb. 1). Es wird deutlich, dass letztendlich jedes Risiko auf eine Plangröße der GuV einwirkt und dort Planabweichungen auslösen kann. Dabei können Risiken als Schwankungsbreite um einen Planwert modelliert werden (z. B. +/- 5 Prozent Absatzmengenschwankung). Zudem können jedoch auch „ereignisorientierte Risiken“ (wie z. B. eine Betriebsunterbrechung durch Maschinenschaden) eingebunden werden, die dann

über das außerordentliche Ergebnis den Gewinn beeinflussen. Ein Blick auf die verschiedenen Simulationsläufe (S1 bis Sn) veranschaulicht, dass sich bei jedem Simulationslauf andere Kombinationen von Ausprägungen der Risiken ergeben. Damit erhält man in jedem Schritt (unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Risiken) einen zufällig erzeugten Wert für die betrachtete Zielgröße (z. B. Gewinn oder Cashflow). Die Gesamtheit aller Simulationsläufe liefert eine „repräsentative Stichprobe“ aller möglichen Risiko-Szenarien des Unternehmens. Aus den ermittelten Realisationen der Zielgröße ergeben sich aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Dichtefunktionen).

Ausgehend von der durch die Risiko-Aggregation ermittelten Verteilungsfunktion der Gewinne kann man unmittelbar auf den Eigenkapitalbedarf (Risk-Adjusted-Capital, RAC) des Unternehmens schließen. Zur Vermeidung einer Überschuldung wird nämlich zumindest soviel Eigenkapital benötigt, wie auch Verluste auftreten können, die dieses aufzehren. Analog lässt sich der Bedarf an Liquiditätsreserven unter Nutzung der Verteilungsfunktion der Zahlungsflüsse (freie Cashflows) ermitteln. Schließlich können Kennzahlen wie die Eigenkapitaldeckung, also das Verhältnisses von verfügbarem Eigenkapital zu risikobedingtem Eigenkapitalbedarf, abgeleitet werden.

### Monte-Carlo-Simulation als Risiko-Aggregations-Verfahren

Analytische Lösungen sind allenfalls für einfache bzw. stark vereinfachte Modelle der Realität verfügbar – und oft genug weisen auch diese schon einen sehr hohen Komplexitätsgrad auf. Daher muss eine Risiko-Aggregation häufig mit Hilfe von statistischen Daten und Simulationsmodellen durchgeführt werden. Hier ist man auf



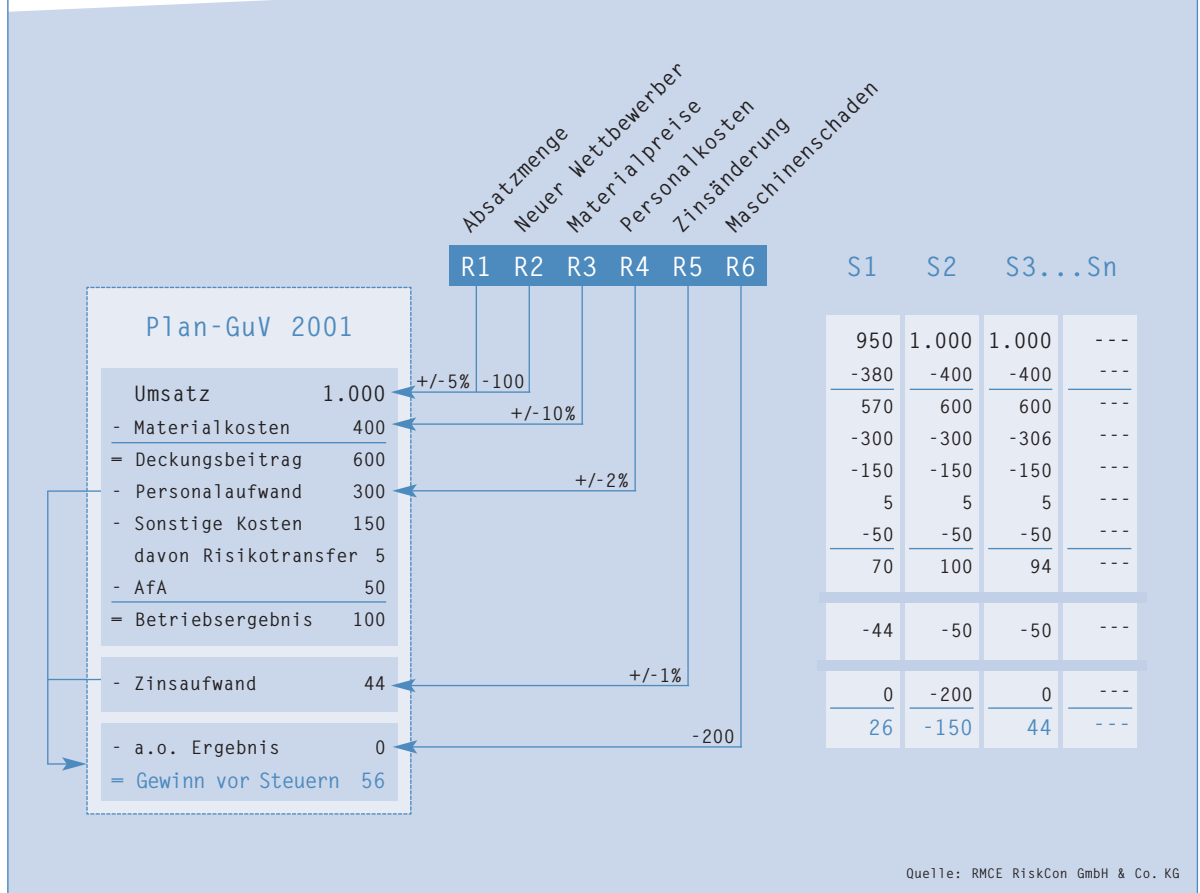
Autor  
**Dr. Werner Gleißner**

ist Geschäftsführer der RMCE RiskCon GmbH & Co. KG und Vorstand der Strategie-Beratungsgesellschaft FutureValue Group AG.

Er ist Lehrbeauftragter an der TU Dresden. Der folgende Beitrag entstand unter Mitarbeit von Thomas Berger, Berater bei der RMCE RiskCon GmbH & Co. KG und Lehrbeauftragter an der BA Stuttgart.

Kontakt: info@rmce.de

Abb. 1: Integration der Risiken in die Unternehmensplanung



Experimente und Messungen angewiesen, mit dem entscheidenden Nachteil, dass eben nur Ereignisse beobachtet werden können, die bereits stattgefunden haben.

Mit der inzwischen erreichten Leistungsfähigkeit von Computern ist es allerdings auch möglich, derartige Ereignisse kostengünstig und in großer Zahl zu erzeugen (zu simulieren). Da der Kern einer solchen Simulation die Generierung von „Zufällen“ ist, hat sich der Name Monte-Carlo-Simulation eingebürgert.

Die allgemeine Vorgehensweise zur Durchführung einer Monte-Carlo-Simulation lässt sich wie folgt beschreiben:

1. Erzeugen der für die Monte-Carlo-Simulation benötigten Zufallszahlen.
2. Umwandeln der Zufallszahlen in die benötigte Verteilung (z. B. Normalverteilung oder Binomialverteilung mit Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit).
3. Berechnen eines Szenarios einer Monte-Carlo-Simulation gemäß den gezogenen Zu-

fallszahlen und der zugehörigen Verteilung.  
 4. Wiederholen der Schritte 1, 2 und 3, bis eine ausreichende Anzahl von Simulationen (z. B. 20.000 Szenarien) generiert wurde, die eine Ableitung stabiler Verteilungen und statistischer Kennzahlen erlaubt.

5. Berechnen von Mittelwert, Standardabweichung oder Quantilen etc. bzw. des Value at Risk der insgesamt simulierten Szenarien (Auswertung).

Tab. 1: Mögliche Szenarien für das Gesamtrisiko

R <sub>2</sub> /R <sub>1</sub>	-4	-2	0	2	4
-4	-8	-6	-4	-2	0
-2	-6	-4	-2	0	2
0	-4	-2	0	2	4
2	-2	0	2	4	6
4	0	2	4	6	8

Tab. 2: Eintrittswahrscheinlichkeit der möglichen Ausprägungen von R

Wert („Schaden“)	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
Häufigkeit	1	2	3	4	5	4	3	2	1
Wahrscheinlichkeit	4%	8%	12%	16%	20%	16%	12%	8%	4%

Tab. 3: Zuweisung von Wahrscheinlichkeiten (Bandbreiten) zu den Ereignissen R

$Z_i$	$0 \leq Z_i \leq 0,2$	$0,2 \leq Z_i \leq 0,4$	$0,4 \leq Z_i \leq 0,6$	$0,6 \leq Z_i \leq 0,8$	$0,8 \leq Z_i \leq 1$
Wert ( $R_i$ )	-4	-2	0	2	4

Es seien beispielsweise zwei unabhängige Risiken R1 und R2 gegeben, mit jeweils fünf verschiedenen Ausprägungen (-4, -2, 0, 2, 4). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert angenommen wird, betrage jeweils 20 Prozent („Gleichverteilung“). Die gemeinsame Auswirkung der beiden Risiken, also das Gesamtrisiko R, liegt somit im Bereich von -8 bis +8 (vgl. Tab. 1).

Es wird deutlich, dass insgesamt 25 mögliche Szenarien für diese Einzelrisiken existieren. Beispielsweise gibt es genau ein Szenario (Kombination von R1 und R2) mit einem Schadenswert für R von -8; aber es gibt 4 Szenarien mit einem Wert von 2. Der Wert 2 ist für die Ausprägung des Gesamtrisikos R also wesentlich wahrscheinlicher als der Wert -8 (vgl. Tab. 2).

Bei der Monte-Carlo-Simulation wird das oben beschriebene Problem der Bestimmung von R nicht analytisch gelöst, sondern mit Hilfe von Zufallszahlen. In diesem Fall benötigt man für jeden Simulationslauf zwei Zufallszahlen Z1 und Z2, die jeweils größer oder gleich 0 und kleiner 1 sind. Mit deren Hilfe werden die realisierten Werte für R1 und R2 bestimmt. Dazu muss eine Funktion gebildet werden, die unter Beachtung der Eintrittswahrscheinlichkeiten einer Zufallszahl jedem Risiko einen Wert zuweist (vgl. Tab. 3).

Werden also in einem Simulationsdurchlauf beispielsweise für Z1 die Zufallszahl 0,3584 und für Z2 0,8897 gezogen, so nimmt R1 den Wert -2 und R2 den Wert 4 an. Damit ergäbe sich ein Gesamtrisiko für R von 2 ( $R = R1 + R2 = -2 + 4 = 2$ ). Dieses Vorgehen wird nun beispielsweise

20.000 Mal wiederholt, wodurch man jeweils 20.000 Ausprägungen von Z1, Z2 und damit auch von R1, R2 sowie R erhält. Auf dieser Basis kann nun der Mittelwert der realisierten Ausprägungen von R als ein Schätzer für den tatsächlichen Erwartungswert von R ermittelt werden. Gleichzeitig lässt sich aber auch ein Histogramm für die Häufigkeitsverteilungen der Werte des Gesamtrisikos erstellen, das die geschätzte Wahrscheinlichkeitsverteilung von R wiedergibt.

Anhand des folgenden Fallbeispiels wird gezeigt, wie die Risiko-Aggregation dazu genutzt werden kann, den Gesamtrisikoumfang und damit den Eigenkapitalbedarf zu bestimmen. Dazu wird die Risikomanagement-Software „Risiko-Kompass“ (vgl. [www.risiko-kompass.de](http://www.risiko-kompass.de)) genutzt, die neben anderer Funktionen (insbesondere zur Rating-Vorbereitung durch Finanzrating, Erfolgspotenzialanalyse etc.) auch eine Risiko-Aggregation mittels Monte-Carlo-Simulation unterstützt.

#### Risiko-Aggregation am Fallbeispiel der Rüsselsheimer Spritzguss GmbH

Die Rüsselsheimer Spritzguss GmbH ist ein fiktives mittelständisches Unternehmen, das Gummi- und Kunststoffwaren herstellt. Die Planung der Gewinn und Verlustrechnung für das Jahr 2004 ist in Abb. 2 dargestellt.

Nach der Ableitung der Plandaten für die GuV und die Bilanz wurde von der Geschäftsführung eine Risiko-Analyse durchgeführt, bei der die

Abb. 2: Planung der GuV der Rüsselsheimer Spritzguss GmbH für das Jahr 2004

1. Umsatzerlöse	43.000 Tausend Euro
Gesamtleistung	52.510 Tausend Euro
5. Materialaufwand	25.770 Tausend Euro
6. Personalaufwand	15.300 Tausend Euro
8. sonstiger betrieblicher Aufwand	7.350 Tausend Euro
Betriebsergebnis (EBIT)	4.090 Tausend Euro
13. Zinsen und ähnliche Aufwendungen	1.601 Tausend Euro
Finanzergebnis	-1.601 Tausend Euro
Ordentliches Ergebnis (EBIT)	2.489 Tausend Euro
15. a.o. Erträge	50 Tausend Euro
16. a.o. Aufwendungen	50 Tausend Euro
17. a.o. Ergebnis, Korrekturen	0 Tausend Euro
18. Steuern vom Einkommen und Ertrag	1.469 Tausend Euro
20. Gewinn nach Steuern	1.020 Tausend Euro

Risiken identifiziert und bewertet wurden. Die Bewertung ergab das aus Tab. 4 ersichtliche Risiko-Inventar mit den zugehörigen Relevanzklassen von „1“ (unbedeutendes Risiko) bis „5“ (bestandsgefährdendes Risiko). Neben der präzisen Quantifizierung der Risiken erlauben diese eine schnelle Ersteinschätzung der Be-

deutung eines Risikos für das Unternehmen. Die Identifikation der Risiken wurde mit Hilfe der Checklisten im „Risiko-Kompass“ durchgeführt. Mit Hilfe der Werte der Plan-GuV kann eine Risiko-Aggregation mittels der Monte-Carlo-Simulation durchgeführt werden, aus der sich die Verteilungsfunktionen einzelner Finanz-

Tab. 4: Risiko-Inventar der Rüsselsheimer Spritzguss GmbH

Risiko-Beschreibung	Relevanz	Quantifizierung
Risiken durch Materialkostenschwankungen, insbesondere bei PVC-Preisen	4	Materialkostenschwankungen Schwankungsbreite: 8%
Risiken durch konjunkturelle Absatzpreisschwankungen	4	Absatzpreisschwankungen Schwankungsbreite: 8%
Risiken durch konjunkturelle Absatzmengenschwankungen	4	Absatzmengenschwankungen Schwankungsbreite: 10%
Risiken durch Planabweichungen bei Personalkosten	3	Personalkostenschwankungen Schwankungsbreite: 4%
Risiken durch Sachanlageschäden (Feuer etc.)	4	Maschinenschaden in der Produktion Schadenshöhe: 1 Mio. Euro Wahrscheinlichkeit: Eintritt alle 75 Jahre
Zinsänderungsrisiken	1	Zinsschwankungen Schwankungsbreite: ein Prozentpunkt

größen für das Jahr 2004 ergibt. Abb. 3 zeigt die Verteilungs- (genauer: Dichtefunktion) des Gewinns für die Rüsselsheimer Spritzguss. Auf der Ordinate ist dabei die Wahrscheinlichkeit dieses Simulationsergebnisses abgetragen, während die Abszisse die Ausprägung in Tausend Euro abbildet. So lassen sich der erwartete Wert (hier 2.467 Tausend Euro), die Höhe des verfügbaren Eigenkapitals (hier 4.640 Tausend Euro) sowie die Höhe des risikobedingten Eigenkapitalbedarfs auf dem 95 Prozent (4.513,8 Tausend Euro) bzw. 99 Prozent-Niveau (7.388,3 Tausend Euro) direkt ablesen. Die gewählten Grenzen von 95 bzw. 99 Prozent bedeuten nichts anderes, als dass in fünf bzw. einem Prozent der Simulationsläufe Werte erreicht wurden, welche nochmals über dem oben genannten risikobedingten Eigenkapitalbedarf lagen. Ebenfalls deutlich wird eine realistische Bandbreite der zu erwarteten Gewinne (hier: - 7 Mio. bis +10 Mio. Euro), was insgesamt mehr Transparenz über die tatsächliche Planungssicherheit unter simultaner Berücksichtigung aller Risiken schafft. Das Fallbeispiel der Rüsselsheimer Spritzguss zeigt insgesamt ein sehr hohes Gesamtrisiko, das erhebliche Planabweichungen zur Folge haben kann. Die ermittelten Resultate lassen sich auch in einfach interpretierbare Risiko-Kennzahlen umsetzen, die in einem so

genannten „Risiko-Cockpit“ angezeigt werden (vgl. Abb. 4). Diese Darstellung umfasst neben Kennzahlen wie der Eigenkapitaldeckung auch verschiedene Aussagen über die Insolvenzwahrscheinlichkeit, die für das Rating maßgeblich sind. Dies hilft, die Risiko-Situation besser einschätzen zu können.

Bei der vereinfachten Betrachtung der Risiko-Kennzahlen steht der Eigenkapitalbedarf (das so genannte „Risk Adjusted Capital“) eines Jahres im Vordergrund. Dieser drückt aus, wie viel Eigenkapital vorgehalten werden sollte, um realistische Verluste tragen zu können. Bei der Rüsselsheimer Spritzguss erreicht das tatsächlich verfügbare Eigenkapital lediglich 62,8 Prozent des risikobedingten Eigenkapitalbedarfs. Um das angestrebte Rating (z. B. „BBB“) und den damit implizit verbundenen Wert für die Insolvenzwahrscheinlichkeit zu erreichen, muss hier der Gesamtrisikoumfang (z. B. durch den Ausstieg aus risikobehafteten Geschäftsfeldern, die Absicherung der PVC-Preisschwankungen oder zusätzliche Versicherungen) reduziert werden, wenn kein zusätzliches Eigenkapital zur Verfügung gestellt werden kann. Aus den Ergebnissen der Simulation lassen sich auch die Kapitalkostensätze für das Unternehmen ableiten. Diese sind nicht zuletzt im

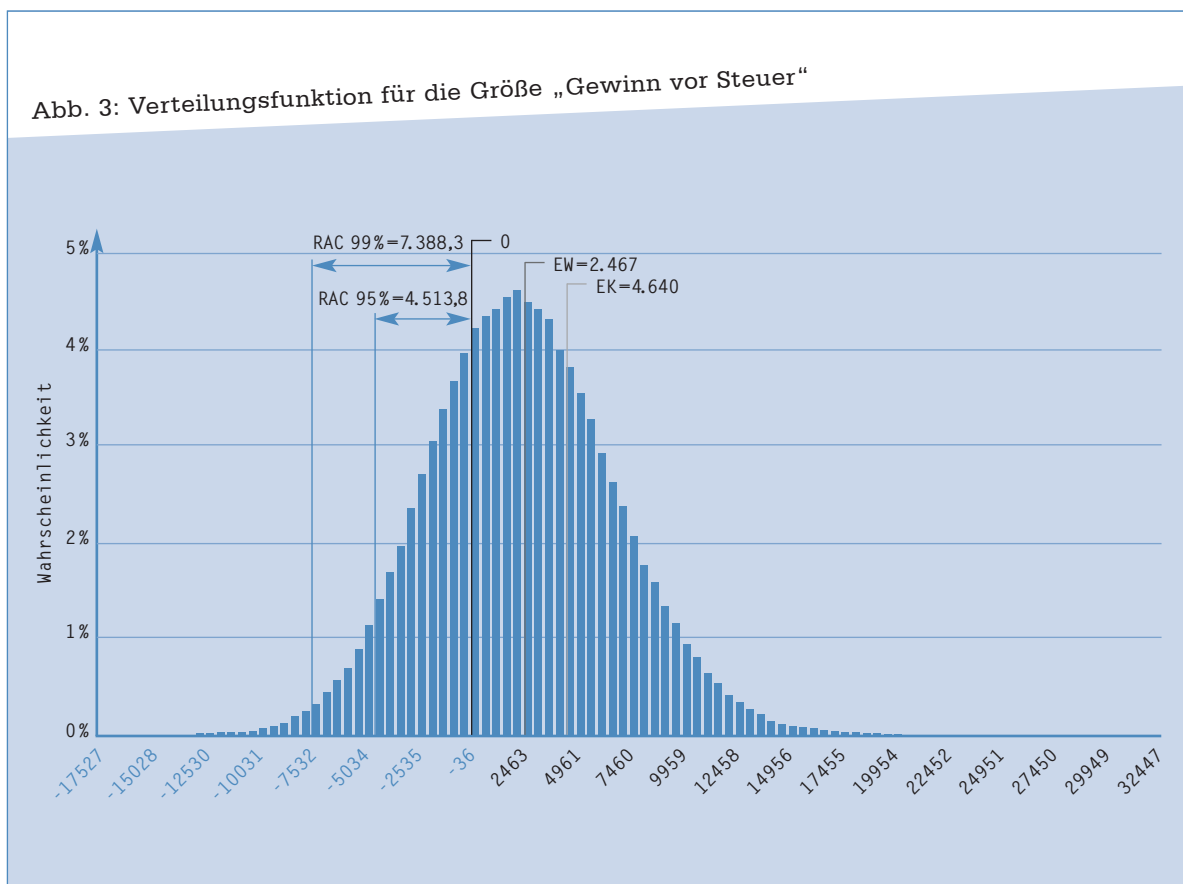


Abb. 4: Risiko-Kennzahlen der Rüsselsheimer Spritzguss GmbH für das Jahr 2004

Kennzahlen	99%
RORACE (Rendite des risikoadjustierten Gesamtkapitals)	12,70%
RORAC (Rendite des Eigenkapitalbedarfs)	33,40%
Eigenkapitalbedarf eines Jahres (RAC)	7.388 Tausend Euro
RAC/Gesamtleistung (Eigenkapitalbedarf zu Gesamtleistung)	13,40%
Eigenkapitaldeckung (Eigenkapital zu Eigenkapitalbedarf)	62,80%
Insolvenzwahrscheinlichkeit für 1 Jahr	
Wahrscheinlichkeit der Illiquidität	14,80%
Wahrscheinlichkeit der Überschuldung	7,70%
Insolvenzwahrscheinlichkeit	15,00%

Hinblick auf eine wertorientierte Unternehmenssteuerung (z. B. gemäß EVA-Modellen) und der Berechnung des Unternehmenswertes (z. B. in Wertgutachten) von Bedeutung. Nahe liegender Weise sollten die risikoabhängigen Kapitalkostensätze (WACC) vom tatsächlichen Risiko-Umfang eines Unternehmens abhängig sein. Genau diese Informationen stellt das Risikomanagement bereit. Der bisher anzutreffende „Umweg“ bei der Bestimmung der Kapitalkostensätze – nämlich Kapitalmarktdaten statt Unternehmensdaten zu nutzen – ist wenig überzeugend. Gerade bei kleinen und mittelständischen Unternehmen dürfte eine Orientierung am Kapitalmarkt äußerst schwierig sein, so dass eine Selbsteinschätzung der Risiko-Situation ein realistischeres Bild abgeben sollte als ein Kapitalmarktvergleich. Um eine fundierte Ermittlung der Kapitalkostensätze für ihre wertorientierten Steuerungssysteme zu gewährleisten, sollten Unternehmen aber auf die Erkenntnisse des

Risikomanagements zurückgreifen. Als Formel zur Bestimmung eines geeigneten Kapitalkostensatzes bietet sich die Berechnung der WACC (Weighted Average Costs of Capital – gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten) an (vgl. Abb. 5). Hier wird unterstellt, dass nur risikotragendes Eigenkapital auch eine Risikoprämie verdient. Der Eigenkapitalkostensatz basiert hierbei auf einem Opportunitätskostenkalkül, d. h. welche Rendite wäre langfristig für das benötigte Eigenkapital in einer Alternativanlage erzielbar, wenn man eine bestimmte Ausfallwahrscheinlichkeit (ggf. auch weitere Risiko-Parameter) unterstellt? Durch die Ableitung des Eigenkapitalbedarfs zu einem vorgegebenen (z. B. aus dem angestrebten Rating abgeleiteten) Sicherheitsniveau lässt sich eine (weitgehende) Normierung für alle Unternehmen erreichen. Auf diese Weise lässt sich die Risiko-Aggregation auch in eine wertorientierte Unternehmenssteuerung integrieren (vgl. Abb. 6). Die

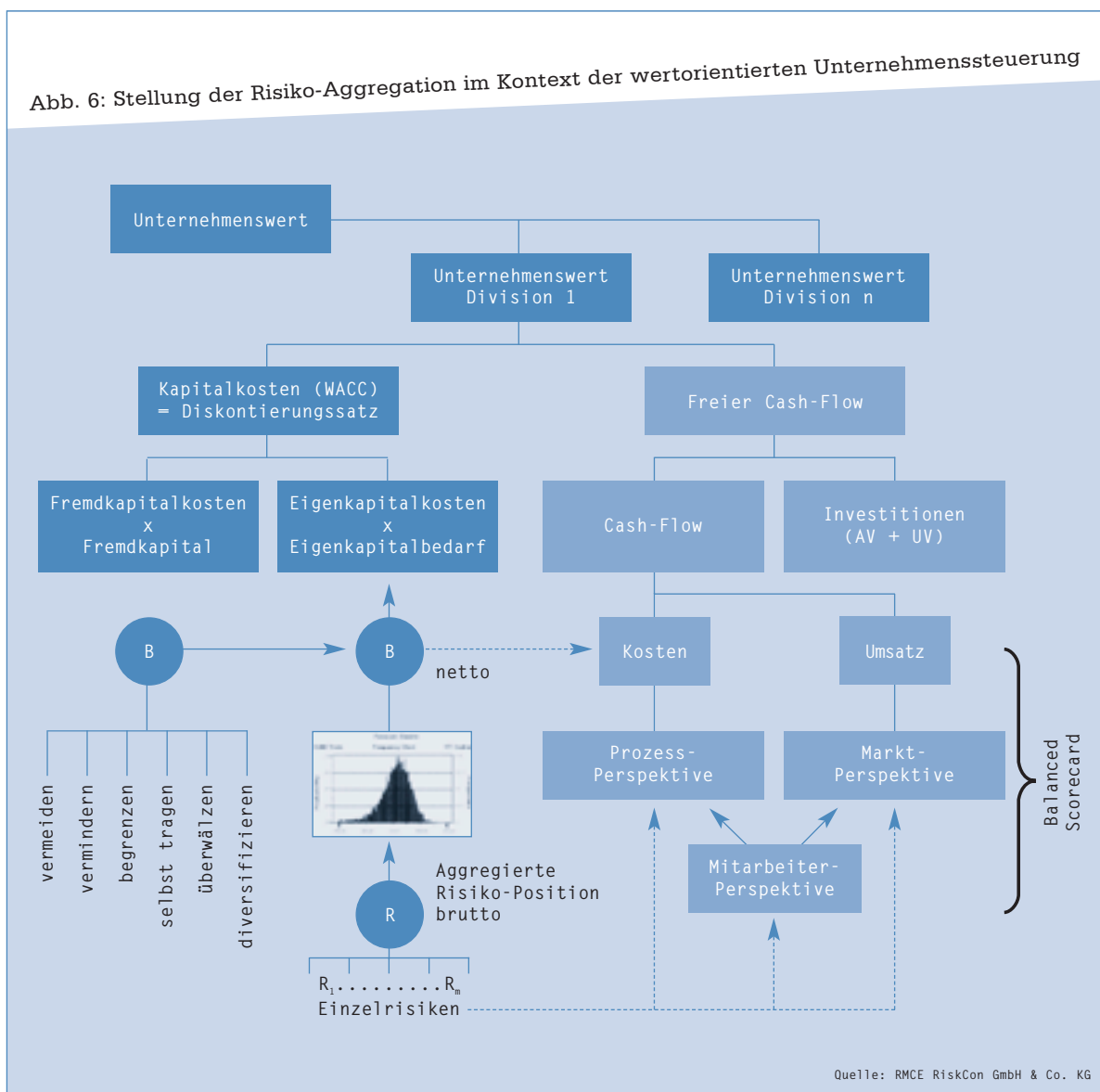
Abb. 5: Berechnung der Weighted Average Costs of Capital

$$WACC = k_{EK} \times \frac{\text{Eigenkapitalbedarf}}{\text{Gesamtkapital}} + k_{FK} \times \frac{\text{Gesamtkapital} - \text{Eigenkapitalbedarf}}{\text{Gesamtkapital}}$$

Ergebnisse der Einzelrisiken fließen als aggregierte Risiko-Position über den Eigenkapitalbedarf (der sich aus der Höhe der Gesamtrisiken ergibt) in den Kapitalkostensatz, der wiederum bei der Bestimmung des Unternehmenswertes benötigt wird.

Neben der Bestimmung des Eigenkapitalbedarfs eines Unternehmens und der besseren Fundierung des Ratings haben Risiko-Aggregations-Verfahren mithin einen wesentlichen weiteren Vorteil: Sie führen das Risikomanagement

aus seiner Isolation und integrieren es in die operativen oder auch strategischen Planungssysteme (Balanced Scorecard) des Unternehmens, die für die Erklärung und Steuerung der Cashflows verantwortlich sind. Das Risikomanagement erhält durch die Risiko-Aggregations-Verfahren seine Stellung als wesentlicher Bestandteil der gesamten Unternehmensführung und unterstützt die Geschäftsleitung bei der Fundierung unternehmerischer Entscheidungen, da Chancen und Gefahren (Risiken) besser gegeneinander abgewogen werden können. ■



**Weiterführende Literatur zum Thema:** Deutsch, H.-P.: Monte-Carlo-Simulation in der Finanzwelt, in: Eller, R. (Hrsg.): Handbuch des Risikomanagements, 1998. / Frey, H. C.; Nießen, G.: Monte Carlo Simulation. Quantitative Risikoanalyse für die Versicherungsindustrie, Gerling Akademie Verlag 2001. / Gleißner, W.: Identifikation, Messung und Aggregation von Risiken, in: Gleißner, W.; Meier, G.: Wertorientiertes Risikomanagement für Industrie und Handel, Gabler Verlag 2001. / Gleißner, W.: Wertorientierte Analyse der Unternehmensplanung auf Basis des Risikomanagements, in: FinanzBetrieb, 7/8, 2002. / Gleißner, W.; Saitz, B.: Kapitalkostensätze - vom Risikomanagement zur wertorientierten Unternehmensführung, in: Accounting, September 2003. / Gleißner, W.; Füsler, K.: Leitfaden Rating, Gabler Verlag. / Gleißner, W.: Risikomanagement für Fortgeschrittene: Risikoaggregation, Eigenkapitalbedarf und Rating, in: Der Controlling-Berater, Haufe Verlag 2003. / Gleißner, W.: Balanced Scorecard und Risikomanagement als Bausteine eines integrierten Managementsystems, in: Romeike, F.; Finke, R.: Erfolgsfaktor Risikomanagement, Gabler Verlag 2003.