

Veröffentlicht in

**Risikomanagement im Unternehmen**

Loseblattwerk (Hrsg. Dr. Werner Gleißner)

2001

**“Messung und Aggregation von Risiken“**

Kapitel 7-3.3, S. 1-16

**KOGNOS VERLAG, Augsburg**

([www.kognos.de](http://www.kognos.de))

## 7-3.3 Risikoaggregation

---

# Messung und Aggregation von Risiken

Autor: Dr. Werner Gleißner

---

### Inhalt

#### **Einleitung**

#### **Messung von Risiken – methodische Anmerkungen**

- Unsicherheit, Risiko und Ungewissheit
- Quantifizierung von Risiken

#### **Risikoaggregation mittels Monte-Carlo-Simulation**

- Bedeutung der Risikoaggregation
  - Die Monte-Carlo-Simulation
  - Fallbeispiel
  - Zusammenfassung
- 

### **Einleitung**

Im Rahmen des Risikomanagementprozesses eines Unternehmens werden zunächst einzelne Risiken identifiziert und in einem Risikoinventar zusammengefasst.

Erforderlich ist anschließend eine quantitative Bewertung und auch eine Aggregation – also Zusammenfassung – aller Risiken. In der Stellungnahme des IDW zum KonTraG vom Juni 1999 wird dazu Folgendes ausgeführt:

*„Die Risikoanalyse beinhaltet eine Beurteilung der Tragweite der erkannten Risiken in Bezug auf Eintrittswahrscheinlichkeit und quantitative Auswirkungen. Hierzu gehört auch die Einschätzung, ob Einzelrisiken, die isoliert betrachtet von nachrangiger Bedeutung sind, sich in ihrem Zusammenwirken oder durch Kumulation im Zeitablauf zu einem bestandsgefährdenden Risiko aggregieren können.“*

### **Die ökonomische Bedeutung der Risikoaggregation**

Die ökonomische Bedeutung der Risikoaggregation ist offensichtlich, weil sich alle Risiken letztendlich gemeinsam auf das Eigenkapital des Unternehmens auswirken. Risikoaggregation ist also nicht nur eine KonTraG-Anforderung, sondern vor allem eine Realität, auf die jedes sinnvolle Verfahren der Risikoanalyse und Risikobewertung Rücksicht nehmen sollte. Von besonderer praktischer Bedeutung ist dabei die Kenntnis, welche Einzelrisiken (z. B. externen Störungen) maßgeblich die Gesamtrisikoposition beeinflussen. Mit dem Aufzeigen der relativen Bedeutung einzelner Risiken (Sensitivitätsbetrachtung) wird die Basis für gezielte, klar priorisierte und aktive Risikomanagementmaßnahmen gelegt.

Da jedoch die so wichtige Aggregation von Einzelrisiken methodisch relativ schwierig ist, wird sie in der Praxis des Risikomanagements oft noch vernachlässigt oder zumindest mit ungeeigneten Methoden „gelöst“. In diesem Beitrag wird daher ein wirksames Verfahren zur Aggregation von Risiken dargestellt: die Monte-Carlo-Simulation. Zunächst werden jedoch einige Grundlagen bezüglich der Messung von Risiken zusammengefasst und „Risiko“ wird gegenüber Ungewissheit abgegrenzt.

## Messung von Risiken – methodische Anmerkungen

### Unsicherheit, Risiko und Ungewissheit

Planungen beziehen sich immer auf die Zukunft. Bei einer Investitionsentscheidung mittels Kapitalwertmethode benötigt man beispielsweise Informationen über zukünftige (freie) Cashflows. Diese sind aber in der Regel nicht mit Sicherheit bekannt, weil niemand die Zukunft vorhersehen kann. Es lassen sich grundsätzlich zwei Arten der Unsicherheit unterscheiden (vgl. Gleißner 2000: S. 226–232).

1. **Risiko:** Bei Entscheidungen unter Risiko sind zwar bestimmte relevante Daten nicht sicher bekannt, aber es ist zumindest bekannt, mit welcher (objektiven oder evtl. auch subjektiven) Wahrscheinlichkeit bestimmte mögliche Umweltzustände eintreten.
2. **Ungewissheit:** Bei Entscheidungen unter Ungewissheit sind zwar die möglichen Umweltzustände bekannt, die Wahrscheinlichkeit des jeweiligen Eintretens aber (zunächst) nicht. (Bei manchen Entscheidungssituationen – z. B. bei erforderlichen technologischen Prognosen – lassen sich nicht einmal mehr die möglichen zukünftigen Zustände vollständig angeben.)

Häufig wird Risiko, unabhängig von den verursachenden Faktoren, als Möglichkeit einer Zielabweichung definiert, was genau genommen den Fall der Ungewissheit mit einschließt:

Risiko ist die aus der Unvorhersehbarkeit der Zukunft resultierende, durch „zufällige“ Störungen verursachte Möglichkeit, geplante Ziele zu verfehlen.

**Arten von Unsicherheiten**

**Definition von Risiko**

Diese Risikodefinition ist eine subjektive Betrachtung des Risikos, wenn man von individuell festlegbaren – und damit subjektiven – Zielen ausgeht. Um den Umfang von Risiken objektiv ermitteln zu können, ist ein Konsens über das geplante Ziel unerlässlich. Es bietet sich daher an, als objektive Zielgröße den – bei gegebenen Informationen – bestimmten Erwartungswert der Zielvariablen als Ziel anzusehen. Risiken sind damit mögliche Abweichungen vom Erwartungswert. Die Berechnung eines Erwartungswertes setzt eine objektiv vorhandene oder zumindest subjektiv abgeschätzte Verteilungsfunktion voraus.

### Quantifizierung von Risiken

#### Verteilungen, Standardabweichung und Value-at-Risk

#### Einheitliches Bewertungs- oder Messverfahren

Um einzelne Risiken quantitativ vergleichen zu können, sollte für alle Risiken ein objektives, einheitlich eingesetztes Bewertungs- oder Messverfahren angewendet werden. Sinnvoll ist es, Risiken zunächst durch eine adäquate Verteilungsfunktion zu beschreiben und den Risikoumfang durch statistische Streuungsmaße – wie die Standardabweichung – zu operationalisieren<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Während der Schadenserwartungswert nur Informationen über die „durchschnittliche Ertragsbelastung“ eines Risikos liefert (und damit bei erwartungstreuer Planung 0 ist), berücksichtigt der VaR auch explizit die Konsequenzen einer besonders ungünstigen Entwicklung für das Unternehmen. Zu beachten ist zudem, dass die Standardabweichung nur bei einer Normalverteilung den Risikoumfang alleine beschreibt. Bei anderen Verteilungstypen sind unter Umständen weitere Parameter (z. B. Schiefe oder Wölbung) erforderlich. Oft ist zudem ergänzend auch eine „relative“ Beschreibung des Risikos sinnvoll; z. B. als Quotient von Standardabweichung zum Erwartungswert der Verteilung (sog. Variationskoeffizient).

Ergänzend kann man Risiken auch relativ anschaulich mit dem so genannten Value-at-Risk, eine Art sog. wahrscheinlicher Höchstschaden messen. Der Value-at-Risk (VaR), der sich unmittelbar aus einer Verteilung ableiten lässt, ist dabei definiert als Schadenshöhe, die in einem bestimmten Zeitraum (sog. Halteperiode, z. B. ein Jahr) mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit (sog. Konfidenzniveau, z. B. 95 %) nicht überschritten wird. Formal gesehen ist ein VaR die Differenz zwischen dem Erwartungswert und dem Quantil der zugehörigen Wahrscheinlichkeitsverteilung.

### Definition Value-at-Risk (VaR)

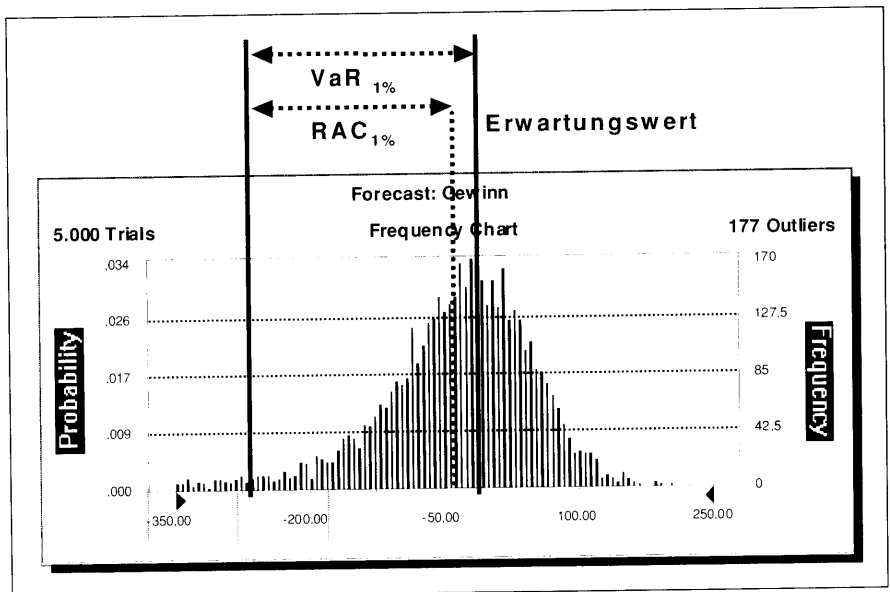


Abb. 1: Die Verteilungsfunktion

Offensichtlich ist es für eine objektive Quantifizierung eines Risikos zunächst einmal entscheidend, den Erwartungswert möglichst präzise zu bestimmen; damit wird die erwartete

### Der Erwartungswert

Entwicklung einer Zielvariablen von der „unerwarteten, zufälligen Entwicklung“ (der sog. Zeitreiheninnovation) – dem eigentlichen Risiko – getrennt. Folglich hängt eine objektive Risikoquantifizierung von der Wahl eines möglichst leistungsfähigen (effizienten, erwartungstreuen) Prognoseverfahrens ab. Eine unbefriedigende Prognose führt zu einer Überschätzung des Risikos.

### **Leistungsfähige Prognose- verfahren**

Es ist plausibel, dass die Unternehmen bzw. die in ihnen tätigen Menschen möglichst präzise Erwartungen bezüglich der zukünftigen Realisationen der sie interessierenden Variablen (z. B. Zins, Umsatz oder Gewinn) bilden, um so Risiken – also unerwartete Abweichungen – zu minimieren. Rationale Wirtschaftssubjekte werden diese Erwartungen in ihren Handlungen berücksichtigen.

### **Der Risikoumfang**

Für die Quantifizierung von Risiken ist es deshalb sinnvoll, die Veränderungen von Variablen in eine erwartete und eine unerwartete Komponente, die den Risikoumfang darstellt, zu trennen. Nicht der Umfang der Veränderung einer Variablen, sondern nur der Umfang unerwarteter Änderung einer Variablen bestimmt das Risiko.

### **Zeitreihenanaly- tische Verfahren**

Für die Berechnung der erwarteten Variablenkomponente benötigt man ein Prognosemodell. Dabei ist eine so genannte „vollständig rationale Erwartungsbildung“, die alle verfügbaren Informationen richtig verarbeiten würde, zwar als Denkmodell interessant, aber nur sehr eingeschränkt in der Realität zu erwarten. (Gleißner, 1997: S. 122–136, S. 187–218) Plausibler erscheint, dass in der Praxis nur zeitreihen-

analytische Verfahren (z. B. ARIMA-Modelle<sup>2</sup>) zur Prognose eingesetzt werden. Bei diesen zeitreihenanalytischen Verfahren wird die zukünftige Realisation einer Variablen in Abhängigkeit ihrer eigenen Vergangenheit aufgefasst (sog. autoregressive Erwartungsbildung, z. B. gleitende Durchschnitte oder ARIMA-Modelle).

Für den Risikoumfang maßgeblich sind demzufolge die Veränderungen, die nicht mittels Zeitreihenanalyse prognostiziert werden können. Alles, was vorhersehbar ist, stellt demzufolge kein Risiko mehr dar. Gemäß den bisherigen Ausführungen lässt sich das Risiko einer Variablen X also nicht einfach durch die Standardabweichungen der Veränderungen dieser Variablen quantifizieren, sondern besser durch die Standardabweichung der (zeitreihenanalytisch) nicht vorhersehbaren Veränderungen.

### Quantifizierung des Risikos

## Risikoaggregation mittels Monte-Carlo-Simulation

### Bedeutung der Risikoaggregation

Das Risikoinventar ist eine bereinigte, komprimierte Zusammenfassung aller im Verlauf der Risikoanalyse identifizierten Einzelrisiken eines Unternehmens, bei der insbeson-

### Definition

<sup>2</sup> Dem zeitreihenanalytischen Ansatz von Box/Jenkins (1968) folgend, lässt sich eine Zufallsvariable  $X_t$  als gewichtetes Mittel aus gegenwärtigen und  $q$  vergangenen stochastischen Schocks  $\mu_t$  darstellen (MA( $q$ )-Darstellung). Alternativ zur MA( $q$ )-Darstellung kann man für Zufallsvariablen einer Zeitreihe eine Darstellung als autoregressiven Prozess der Ordnung  $p$  (AR( $p$ )-Prozess) wählen. Eine Kombination beider Ansätze sind ARMA( $p, q$ )-Modelle, die so spezifiziert werden können, dass die Anzahl der zu schätzenden Parameter ( $p+q$ ) minimal wird:  $y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + \mu_t + \beta_1 \mu_{t-1} + \beta_2 \mu_{t-2} + \dots + \beta_q \mu_{t-q}$



dere Doppelzählungen und Überschneidungen eliminiert wurden. Die nun anstehende Risikoaggregation ist methodisch schwierig:

### **Risikoaggregation als Voraussetzung**

Die Risikoaggregation ist insbesondere Voraussetzung für fundierte Aussagen zu folgenden Themen:

- Gesamtrisikoumfang (z. B. risikobedingte Streuungsbreite des Gewinns)
- Eigenkapitalbedarf (RAC; auch getrennt nach Geschäftsfeldern)
- (risikoabhängiger) Kapitalkostensatz

Da jedoch die so wichtige Aggregation von Einzelrisiken methodisch relativ schwierig ist, wird sie in der Praxis des Risikomanagements oft vernachlässigt<sup>3</sup>. Nachfolgend ist daher ein wirksames Verfahren zur Aggregation von Risiken dargestellt: die Monte-Carlo-Simulation.

### **Die Monte-Carlo-Simulation**

### **Ausprägung GuV und Bilanz**

Das geeignetste Verfahren zur Risikoaggregation stellt die Risikosimulation (Monte-Carlo-Simulation) dar. Hierzu werden die Wirkungen der Einzelrisiken in einem Rechenmodell des Unternehmens beispielsweise den entsprechenden Posten der GuV oder Bilanz zugeordnet (vgl. die folgende Abbildung: mit den Risiken R1, R2 bis R6). Solche Risikowirkungen werden durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben. In unabhängigen Simulationsläufen wird mit Hilfe von Zufallszahlen ein Geschäftsjahr mehrere

---

<sup>3</sup> Offensichtlich ist, dass die Aggregation von Risiken nicht durch eine Addition der Schadenhöhen lösbar ist. Dies wäre nur bei vollständig korrelierten Risiken (Korrelationskoeffizient = 1) zulässig und führt in der Praxis zu einer massiven Überschätzung des Gesamtrisikos eines Unternehmens.

tausend Mal durchgespielt und jeweils eine Ausprägung der GuV oder Bilanz berechnet. Damit erhält man in jedem Simulationslauf einen Wert für die betrachtete Zielgröße (z. B. Gewinn). Durch das Simulationsverfahren wird somit das komplexe Problem der analytischen Aggregation einer Vielzahl unterschiedlicher Wahrscheinlichkeitsverteilungen durch eine numerische Näherungslösung ersetzt.

Im Prinzip wird durch diese Simulation eine repräsentative Stichprobe aller möglichen Risiko-Szenarien eines Unternehmens bestimmt und ausgewertet.

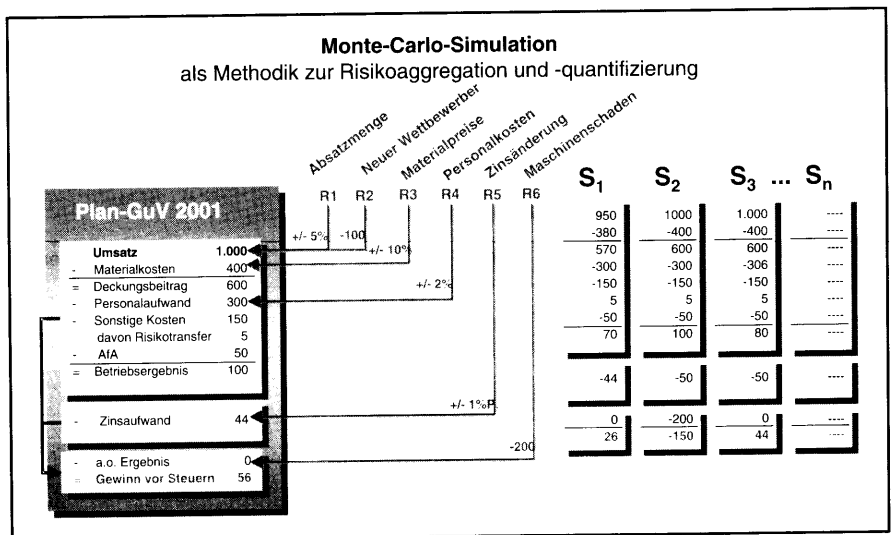


Abb. 2: Risikoaggregation

Grundsätzlich lassen sich dabei die Risiken (unter Simulationsgesichtspunkten) in zwei Gruppen untergliedern:

Einerseits beschreibt man Risiken durch Schwankungen von (Markt-)Parametern (z. B. Absatzmenge), in denen sich eine

**Zwei Gruppen von Risiken**

**Verteilungsorientierte Risiken**

Vielzahl von Einzelstörungen widerspiegeln, die nicht getrennt werden können (sog. verteilungsorientierte Risiken). Gemäß dem sog. zentralen Grenzwertsatz konvergiert die Summe solcher Einzelstörungen (oft) gegen eine Normalverteilung.

### Ereignis-orientierte Risiken

Andererseits können Zielabweichungen auch durch (größere) besondere einzelne Ereignisse hervorgerufen werden (sog. ereignisorientierte Risiken), die sich meist nicht mit einer Normalverteilung beschreiben lassen.

Aus den ermittelten Realisationen der Zielgrößen ergeben sich aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilungen (vgl. Abbildung 3). Aus diesen kann der Value-at-Risk als ein Höchstschaden, der mit beispielsweise 95%iger Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, ermittelt werden.

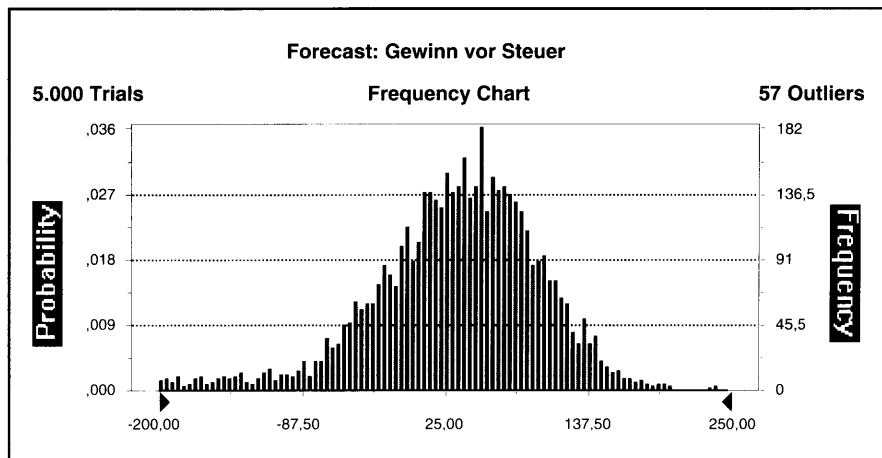


Abb. 3: Verteilungsfunktion des Gewinns

**Fallbeispiel**

Die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation soll nachfolgend durch ein sehr einfaches Beispiel verdeutlicht werden. Die STUTTGARTER MASCHINEN AG, deren Gesamtisikoumfang ermittelt werden soll, zeigt folgende Ausgangssituation<sup>4</sup>:

<b>Umsatz:</b>	3,0 Mrd. DM
– davon (deutlich) größter Einzelkunde:	0,6 Mrd. DM
– Übliche Schwankungsbreite des Umsatzes: (Standardabweichung):	4 %
<b>Variable Kosten (Materialkosten):</b>	1,5 Mrd. DM
– also 50 % des Umsatzes	
<b>Gewinn:</b>	0,1 Mio. DM
<b>Bilanzsumme:</b>	2,0 Mrd. DM
<b>Eigenkapital:</b>	0,4 Mrd. DM

Im Unternehmen wurden nur drei (ereignisorientierte) Risiken identifiziert, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind<sup>5</sup>:

**Drei identifizierte Risiken**

<sup>4</sup> Entnommen aus Gleißner, W. / Meier, G. Risikoaggregation mittels Monte-Carlo-Simulation, in: Versicherungswirtschaft, 13/1999, S. 926–929.

<sup>5</sup> Häufig sind solche Risiken nur durch subjektive Schätzungen bestimmbar. Auch dann ist jedoch der Einsatz von Simulationsmethoden zur Risikoaggregation sinnvoll. Denn auch schlechte Ausgangsdaten werden durch den Einsatz schlechter Aggregationsmethoden nicht besser.

Risiko	Wahrscheinlichkeit	Schadenshöhe (Ertrag)
Großkundenverlust	5 %	300 Mio. DM
Imageschaden durch Abwasserprobleme	10 %	130 Mio. DM
Zusatzkosten durch Maschinenausfall	25 %	80 Mio. DM

Zu berücksichtigen ist, dass das Risiko „Großkundenverlust“ zu den beiden anderen Risiken jeweils eine Korrelation von + 0,5 aufweist, weil das Eintreten eines dieser beiden Risiken, zu einer erhöhten Abwanderungswahrscheinlichkeit dieses Kunden führt.

### Ergebnisse

Bei einer Risikobewertung wird ein Geschäftsjahr nun mittels Monte-Carlo-Simulation 5.000-mal durchgespielt. Wie die obigen Angaben zeigen, wird dabei in 5 % (= 250) aller Fälle (Jahre) zufällig ein Großkundenverlust eintreten und jeweils einen Schaden von 300 Mio. DM verursachen. Die beiden anderen Risiken werden entsprechend behandelt. „Normale Absatzschwankungen“ werden durch eine Normalverteilung mit einer aus den vergangenen Jahren ermittelten Standardabweichung von 4 % dargestellt.

In jedem der simulierten Geschäftsjahre ergibt sich ein bestimmter Gewinn, der davon abhängt, welche Risiken in welchem Umfang wirksam wurden.

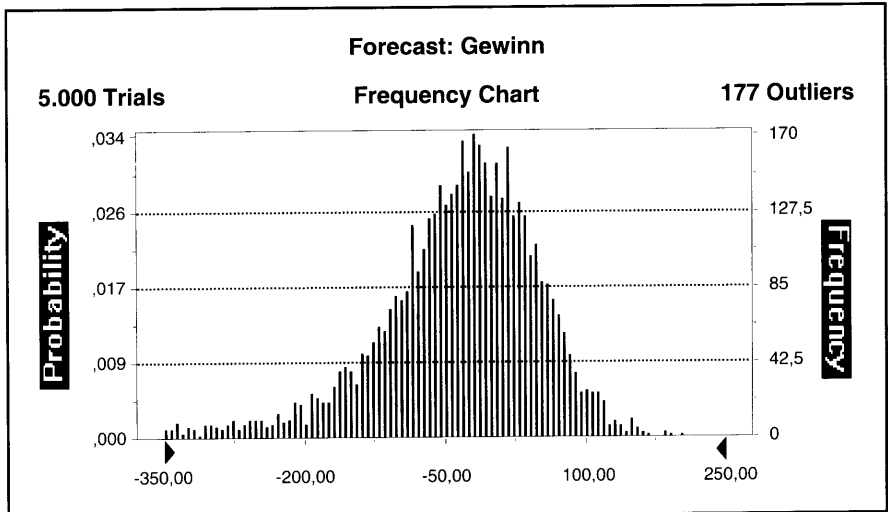


Abb. 4: Verteilungsfunktion des Gewinns

Quantil		Gewinn
2,5 %		- 403
5,0 %	<b>VaR<sub>(5%)</sub></b>	<b>- 277</b>
50,0 %	Median	- 27
95,0 %		84
97,5 %		107

Diese Verteilungsfunktion des Gewinns weist ein arithmetisches Mittel von - 48 Mio. und eine Standardabweichung von 114 Mio. DM auf. Nur in 5 % der Fälle wird ein Verlust von 277 Mio. DM unterschritten, womit dieser Wert der Value-at-Risk zum 5 %-Niveau ist.

Eine einfache Sensitivitätsanalyse (vgl. Abb. 5) zeigt, dass die Gewinnschwankungen stärker durch übliche Absatzschwankungen als durch die drei anderen Risiken bestimmt werden; Letztere beeinflussen aber – wie eine ergänzende Untersuchung zeigt – entscheidend den VaR.

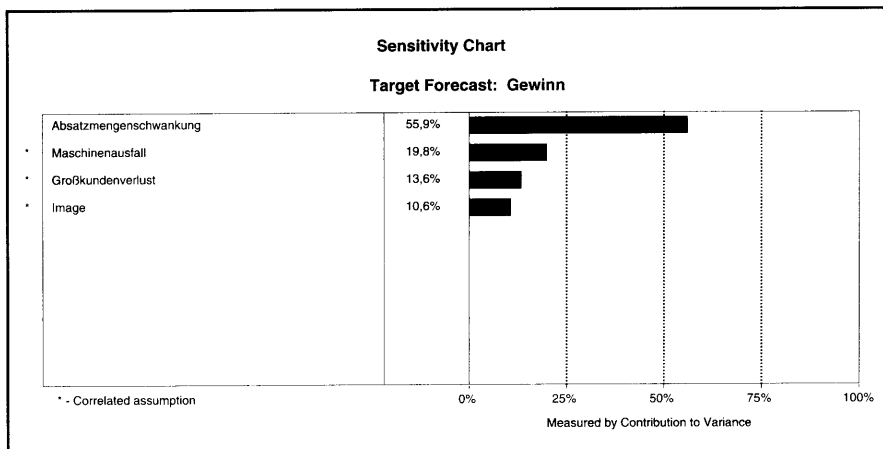


Abb. 5: Sensitivitätsanalyse

### Zusammenfassung

#### Systematisierung, Aggregation von Risiken

Eine wesentliche Voraussetzung für fundierte Maßnahmen der Risikobewältigung, die einen Beitrag zum Unternehmenserfolg (Unternehmenswert) leisten, ist eine zuverlässige Informationsbasis über die Risikosituation des Unternehmens, weil die Qualität jeder unternehmerischen Entscheidung über Maßnahmen letztlich von der Qualität der zugrunde liegenden Informationen abhängt. Dies erfordert leistungsfähige Verfahren zur Identifikation, Bewertung (Messung) und Aggregation der Risiken. Bei der Quantifizierung von Risiken ist darauf zu achten, dass primär die

nicht vorhersehbaren Veränderungen für die Risikoquantifizierung relevant sind, was geeigneten Prognoseverfahren eine hohe Bedeutung zukommen lässt.

Eine Vielzahl von Risiken bei einem Unternehmen zu identifizieren, ist noch eine relativ einfache Aufgabe. Anspruchsvoll ist dagegen die Systematisierung und insbesondere die Aggregation von Risiken, wenn man den Gesamtrisikoumfang eines Unternehmens – und seine wesentlichen Bestimmungsfaktoren – fundiert beurteilen will. Hier ist als sehr leistungsfähige und flexible Methode der Einsatz von Simulationsverfahren erforderlich, um die zusammengefassten Wirkungen der Risiken auf Zielgrößen wie Gewinn, Cashflow oder Unternehmenswert aufzeigen zu können. Das Risikomanagement unterstützt so Controlling und Unternehmensplanung.

Die hohe Bedeutung einer fundierten Risikoanalyse für das gesamte Risikomanagement (und letztlich auch für die Unternehmensstrategie) rechtfertigt den Einsatz solcher etwas anspruchsvolleren, aber bewährten Methoden wie der Monte-Carlo-Simulation.

### Literaturhinweise

Gleißner, W., Notwendigkeit, Charakteristika und Wirksamkeit einer heuristischen Geldpolitik

Gleißner, W.: Faustregeln für Unternehmer – Leitfaden für strategische Kompetenz und Entscheidungsfindung, Gabler Verlag, 2000.

Gleißner, W. / Füser, K.: Moderne Frühwarn- und Prognosesysteme für Unternehmensplanung und Risikomanagement, in: Der Betrieb, 19/2000, S. 933–941.



Gleißner, W. / Meier, G.: Risikoaggregation mittels Monte-Carlo-Simulation, in: Versicherungswirtschaft, Heft 13/1999, S. 926–929.