

Risikomanagement-Prozess-Modell für Bauunternehmen – Risikobelastungsdimension

G. Girmscheid

Zusammenfassung Aus dem derzeitigen wirtschaftlichen durch intensiven Wettbewerb geprägten Umfeld der Bauwirtschaft resultieren enorme folgenreiche Risikobelastungen für die Bauunternehmen [1], [2]. Diese Veröffentlichung, welche in zwei Teilen erfolgt, stellt ein holistisches, probabilistisches Risikomanagement-Prozess-Modell (RMP-M) vor (Bild 1), welches an der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Verband Schweizerischer Generalunternehmen entwickelt wurde und bei allen projektorientierten Unternehmen einsetzbar ist [3]. Die Einführung eines solchen Risikomodells in die Supportprozesse eines Unternehmens wird die Vertrauenswürdigkeit aus Sicht der Bauherren und Banken erhöhen und damit Wettbewerbsvorteile schaffen. Zudem lassen sich aus Kenntnis der Risiken die kalkulierten Gewinne zielsicher erreichen. In diesem Teil der Veröffentlichung wird die Risikobelastungsdimension als eine der drei Strukturdimensionen mit Hilfe eines „bottom-up“-Ansatz entwickelt (Bild 1). Basis hierfür bilden sowohl das Risikoaggregations-Theorem als auch das Cashflow-Risiko-Modell und das Vermögen-/Gewinn-Risiko-Modell. Im Rahmen einer weiteren Veröffentlichung werden die zum RMP-M gehörenden Risikotragfähigkeitsdimension („top-down“-Ansatz) mit ihren strukturierten Risikodeckungsmassen und die Risikoprozesssteuerungsdimension (integrativer Ansatz) entwickelt.

Riskmanagement-Process-Model for Construction Enterprises – Risk load dimension

Abstract The construction companies are subjected to enormous risks due to the intensive competition in the present and future economic environment [1], [2]. This paper presents the Risk load dimension of a holistic, probabilistic Enterprise-Riskmanagement-Process-Model (RMP-M), which was created at the Swiss Federal Institute of Technology Zurich enacted by and in collaboration with the Swiss Association of General Contractors and is applicable to all project oriented enterprises [3].

In this part of the paper the risk load dimension, as one of the three structure dimensions, will be developed with the aid of a bottom-up approach (Fig. 1). Basis for this approach are the risk aggregation theorem as well as the Cash flow risk model and the Asset risk model. Within the scope of another paper the risk resistance capacity dimension (top-down approach) with its

structured risk coverage resources and risk load resistance theorem for the risk controlling process (integrative approach) will be developed. To introduce such a risk model in the company support processes will potentially increase the reliability in the clients' and banks' view; therefore it will create competitive advantages.

1 Einleitung

Alle Unternehmen in der Bauwirtschaft, insbesondere die Bauunternehmen, sind sehr hohen wirtschaftlichen Risiken ausgesetzt. Die Gründe hierfür sind unter anderen:

- Bauvorhaben müssen immer effizienter und schneller verwirklicht („time to market“),
- Bauvorhaben werden immer komplexer,
- Bauvorhaben besitzen Unikatcharakter,
- Lebenszyklusleistungen ergänzen den Bauwerkerstellungsprozess.

Zudem herrscht in den meisten Märkten ein sehr intensiver Wettbewerb, insbesondere innerhalb Europas, welcher nur sehr kleine Gewinnmargen zulässt. In der Vergangenheit konnte in den meisten Fällen der kalkulierte Gewinn die Risikobelastung weitgehend auffangen, während heute die Risikobelastungen aufgrund der meist geringen Gewinnmargen häufig zu Verlusten führen. Schließlich kennen Bauunternehmen im Allgemeinen ihre gegenwärtige Risikobelastung und ihre noch verbleibende Risikotragfähigkeit nicht, was anhand des tragischen Bankrotts bzw. der Insolvenz zweier internationaler Bauunternehmen in Deutschland in den letzten zwei Jahren gezeigt wurde [1].

Das hier entwickelte holistische, probabilistische ganzheitliche Risikomanagement-Prozess-Modell (RMP-M) besteht aus drei Dimensionen. In diesem Prozessmodell bilden das Cashflow-Risiko-Modell, das Vermögen-/Gewinn-Risiko-Modell, das Risikobelastungs-Theorem mit den Risikoszenarien sowie das Risikotragfähigkeitskalkül den Kern, mit den folgenden Strukturdimensionen (Bild 1):

- **Risikobelastungsdimension** - „bottom-up“-Ansatz
 - *Risikotragfähigkeitsdimension* - „top-down“-Ansatz
 - *Risikoprozesssteuerungsdimension* - integrativer Ansatz
- Die Risikobelastungsdimension – „bottom-up“-Ansatz – unterscheidet die Risikobelastungen auf verschiedenen Unternehmensebenen und basiert auf den folgenden drei Konzepten
- Risikoaggregations-Theorem
 - Cashflow-Risiko-Modell und Vermögen-/Gewinn-Risiko-Modell
 - Risikobelastungs-Szenario-Modell und Risikobelastungs-Theorem

Die Risikobelastungsdimension ist Gegenstand der vorliegenden Veröffentlichung.

Die Risikotragfähigkeitsdimension – „top-down“-Ansatz – strukturiert die zur Risikoabwehr vorhandenen monetären

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid
M.ASCE, John O. Bickel Award 2004 and 2005
Professor für Bauprozess- und Bauunternehmensmanagement
Vorsteher des Institutes Bauplanung und Baubetrieb
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich)
Zürich, Schweiz,
girmscheid@ibb.baug.ethz.ch
+41 44 6333787 Telefon
+41 44 6331088 Fax

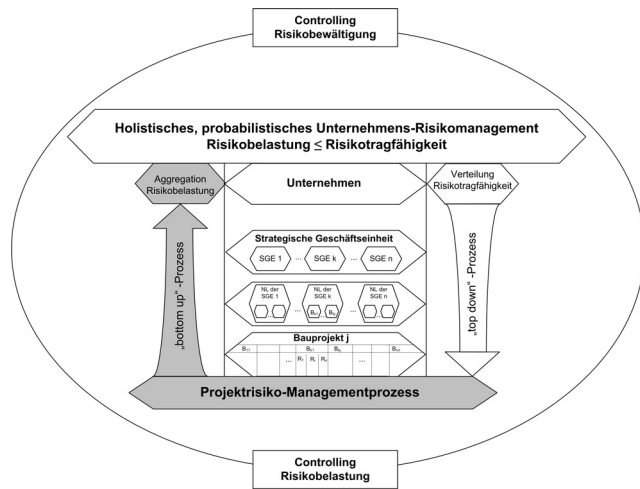


Bild 1. Struktur des holistischen, probabilistischen Risikomanagement- Prozessmodells (RMP-M) für projektorientierte Unternehmen (Der Inhalt des Teil I ist farblich markiert)

Fig. 1. Structure of the Holistic, Probabilistic Risk Management Process Model (RMP-M) for project-oriented Enterprises (the content of part I is coloured marked)

Ressourcen – um die Risikotragfähigkeit mit Hilfe eines „top-down“-Ansatzes festzustellen und festzulegen. Die Dimension der Risikoprozesssteuerung – integrativer Ansatz – verfolgt drei Konzepte zur Steuerung des Gleichgewichtes sowie der effizienten Nutzung und optimierten Umverteilung von Risikodeckungsmassen. Die beiden letztgenannten Dimensionen sind Gegenstand einer weiteren Veröffentlichung.

2 Stand der Wissenschaft

Mehr und Hedges [4] führten das Risikomanagement in die Betriebswirtschaft hinsichtlich der Risikoversicherung ein. Cristy [5] stellte mit Hilfe einer breit abgestützten statistischen Arbeitsgrundlage die Grundsätze des Risikomanagement insbesondere bei Versicherungen vor. Curran [6] zeigte auf, wie man die Unsicherheiten und das Risiko misst. Spezifische Bankrisikomanagementkonzepte wurden durch Brakensiek [7] und Oehler [8] hinsichtlich der Ausfallrisiken bei Darlehen sowie durch Kahn [9] hinsichtlich der Wahl von Option-Pricing-Modelle vorgestellt. Schierenbeck [10] fasste die Risikoprozesse der Banken zusammen. Thommen [11] definierte die betriebswirtschaftlichen und strategischen Risikokategorien für Industrieunternehmen. Die verschiedenen Risikotypen der Bauunternehmen und Bauprojekte wurden durch Williams [12], Smith [13] und Girmscheid/Busch [3] definiert. Der Risikomanagementprozess wird von verschiedenen Autoren wie Cristy [5], Parkinson [14], Beaver/Parker [15], Chapman/Ward [16], Flanagan/Norman [17] und Girmscheid/Busch [3] beschrieben. Mit seiner Portfoliotheorie entwickelte Markowitz [18] ein sehr wichtiges Werkzeug für das moderne Risikomanagement in den Unternehmen. Der „value at risk“ (VaR) wurde als Risikomaß für finanzielle Derivate mit einem statistischen Sicherheitsniveau definiert [19], welcher – neben dem „risk-reward-ratio“ (RoRaC), eines der wichtigsten Risikoinstrumente darstellt. Schierenbeck/Lister [20] und Miller/Scholes [21] fassten die Risikoinstrumente für Banken- und Versicherungsunternehmen hinsichtlich des „value at risk“, der Risikobelastungskapazität und des „risk-reward-ratio“ zusammen. Sie

schlagen vor, die Anforderungen für Versicherungsunternehmen und besonders für Banken entsprechend Basel II zu übernehmen [22] und Ihre Risiken mit Hilfe von Anteilswerten an Industrieunternehmen abzudecken. Schwartz/Smith [23] und Schierenbeck/Lister [20] entwickelten das Value-Controlling für Industrieunternehmen, mit besonderer Betrachtung in Hinblick auf das Gesetz KonTraG in Europa. Weiterhin beschäftigten sich Berry/Phillips [24] mit dem Risikomanagement in Unternehmungen. Kremers [25] übertrug das „value at risk“-Konzept und das „risk-reward-ratio“ in ein Entscheidungsinstrument für Investitionen in der Produktionsausrüstung von Industrieunternehmen. Das Kremersche Modell berücksichtigt finanz- und vermögensorientierte Ressourcen, um verschiedene Investitionsalternativen abschätzen zu können.

Das Risikomanagement in den Versicherungsunternehmen und Banken wird durch umfangreiches statistisches Material sehr gut abgestützt. Versicherungsgesellschaften treffen grundsätzlich längerfristige Risikoentscheidungen, während die Banken im Allgemeinen – vor allem aufgrund der Börse – kurzfristige Entscheidungen treffen, außer sie gewähren langfristige Darlehen. In der Wirtschaft dominieren die Marktrisiken die möglichen Risiken eines Produktionsprozesses. Die Risk Metric Group [26] entwickelte benchmarks für Unternehmensrisiken. In der Bauwirtschaft werden die Risiken überwiegend durch Projekte verursacht. Bis jetzt ist weder in der Praxis noch in der Forschung ein holistisches probabilistisches Risikomanagement-Prozess-Modell vorhanden, welches die vertraglich eingegangene Projektrisiken der verschiedenen Unternehmensebenen zur Risikobelastung aggregiert und die Risikotragfähigkeit eines Unternehmen unter Berücksichtigung der Insolvenz-/Konkurs-Theorie aus den finanz- und vermögensorientierten Ressourcen ableitet. Diese Veröffentlichung stellt ein solch spezielles Prozessmodell vor, welches zusammen mit dem Verband Schweizerischer Generalunternehmen entwickelt wurde.

3 Forschungsmethodik

Bauprozess- und Unternehmensmanagement sind Teil der Betriebswissenschaften. Ziel ist es neue sozio-technische Realitäten zu konstruieren. Vor diesem Hintergrund wird das konstruktivistische Forschungsparadigma gemäß Guba/Lincoln [27] und Girmscheid [28] angewendet, um den „bottom-up“-Ansatz für die Risikoaggregation und das Risikobelastungs-Theorem, sowie den „top-down“-Ansatz für die Bestimmung der Risikotragfähigkeit zu konstruieren und für das RMP-M mit dem Risikotragfähigkeitskalkül zusammenzuführen.

Dieses konstruktivistische Risikomanagement-Prozess-Modell wird durch Triangulation [29] mit Hilfe von theoretischen Bezugsrahmen und Realisierbarkeitstests abgesichert [28]. Für den theoretischen Bezugsrahmen des vollständigen RMP-M finden die Systemtheorie von Boulding [30] und v. Bertalanffy [31] sowie die Kybernetik gemäß Stachowiak [32] Anwendung. Die Systemtheorie (ST) definiert das Modell in der Realität. Die ST wird definiert durch:

- die umweltbezogenen Aspekte des Modells hinsichtlich des Einflusses externer Risiken,
- die organisatorischen Aspekte hinsichtlich der Aggregationsebenen der Risiken und der Verteilung der Risikotragfähigkeit auf die verschiedenen Unternehmensebenen,

- die funktionalen Aspekte hinsichtlich des „bottom-up“- und „top-down“-Prozesses,
- die strukturellen Aspekte hinsichtlich der dissipativen Relation zur Umwelt und als ein selbst-organisiertes System.

Die Kybernetik des Modells ist durch die Steuerung der Risikobelastung, durch die Insolvenz bzw. Konkurstheorie hinsichtlich Cashflow und Vermögen/Gewinn sowie durch die Entscheidungen hinsichtlich der Risikolimiten und ihre periodische Steuerung und Anpassung zu den tatsächlichen und zukünftigen Risikodeckungen gegeben. Aus diesem Grund ist das RMP-M ein kybernetisches systemorientiertes Konstrukt.

Das kybernetische systemorientierte RMP-M basiert auf einer mathematischen Modellbildung unter Benutzung des zentralen Grenzwertsatzes der Stochastik und der probabilistischen Simulationstheorie für die Risikoaggregation, der Insolvenz-/Konkurs-Theorie zum Ableiten von Risikobelastungslimiten und von Risikodeckungsklassen sowie der Anwendung der Portfolio- und Finanztheorien, um die Risikobelastung festzustellen (value at risk).

Das Risikotragfähigkeitskalkül wird mit Hilfe der Portfolio- und Insolvenz-/Konkurs-Theorie bestimmt. Das Modell wurde erfolgreich anhand von Beispielberechnungen und mit Datensätzen von Unternehmen überprüft, welche im Forschungsprojekt involviert waren. Einige Schweizer Unternehmen haben dieses Modell bereits eingeführt.

4 Risikobelastungsdimension – „bottom up“-Ansatz

Die Risikobelastungsdimension unterscheidet Risikobelastungen hinsichtlich der verschiedenen Unternehmensebenen und basiert auf den folgenden drei Konzepten:

- Risikoaggregations-Theorem
- Cashflow-Risiko-Modell (CRM) und Vermögens-/Gewinn-Risiko-Modell (VRM)
- Risikobelastungs-Szenario-Modell und Risikobelastungs-Theorem

Die in Bild 1 skizzierten Unternehmensebenen umfassen – hier als Beispiel von unten nach oben gelesen – die Projektebene, die Niederlassungen, die strategischen Geschäftseinheiten (SGEs) und die Ebene des Gesamtunternehmens. Mit Hilfe des Konzeptes der Risikoaggregation können die Risikokosten aller Projekte einer Niederlassung mit einem „bottom-up“-Ansatz aggregiert und damit das Gesamtrisiko einer Niederlassung verdeutlicht werden. Die aggregierten Risikokosten aller Niederlassungen einer strategischen Geschäftseinheit ergeben wiederum das Gesamtrisiko einer strategischen Geschäftseinheit, und die Risikokosten aller strategischen Geschäftseinheiten ergeben das Gesamtprojektrisiko eines Unternehmens.

Das Cashflow-Risiko-Modell und das Vermögen-/Gewinn-Risiko-Modell werden verwendet, um die Verteilungsfunktionen des operativen probabilistischen Cashflow und der Vermögen/Gewinne in Bezug auf die Auswirkungen von verschiedenen Risikobelastungen zu beurteilen. Die resultierende Risikobelastung wird mit dem Ansatz „value at risk“ für verschiedene Belastungsszenarien festgestellt.

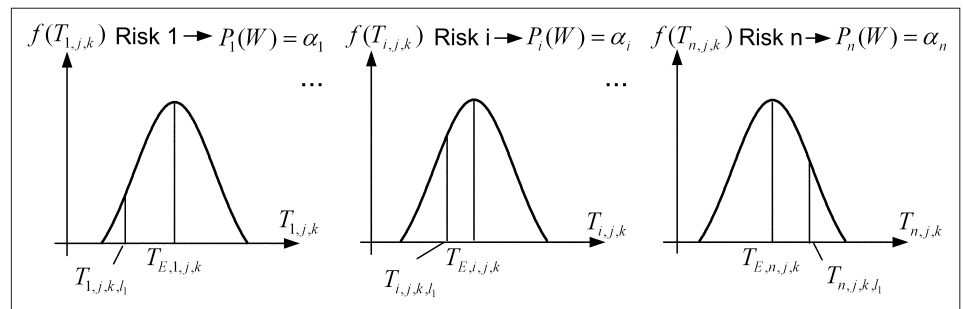


Bild 2. Stetige Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion der Kostentragweite $T_{i,j,k}$ der Risiken in Projekt j
Fig. 2. Continuous Probability density functions of impact cost $T_{i,j,k}$ of risk in project j

4.1 Risikoaggregations-Theorem

4.1.1 Risikoaggregation auf Projektebene j

Mit dem unterzeichnen eines Bauvertrages geht jedes Unternehmen bestimmte akzeptierte Risiken ein (Bild 1). Die Risiko-Kosten werden entweder durch die deterministische „Praxismethode“ [3] oder die probabilistischen stochastischen Axiome sowie der probabilistischen Monte-Carlo Simulation [35] berechnet.

Im Falle der Quasi-Normalverteilung der Kostentragweite jedes Risiko i im Intervall $[T_{min,i,j,k}; T_{max,i,j,k}]$ eines Projektes j kann das Erwartungswert-Theorem der Stochastik verwendet werden, um den Erwartungswert der Kostentragweite des Risiko i (Bild 2), wie folgt zu bestimmen:

$$T_{E,i,j,k} = \int_{T_{min}}^{T_{max}} T_{i,j,k} * f(T_{i,j,k}) dT_{i,j,k}$$

Um die erwarteten Risikokosten des Projektes j zu bestimmen, wird das Additionstheorem für die unabhängige quasi-normalverteilte Kostentragweite auf jedes einzelne Risiko i unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines jeden Risiko i angewendet.

Die „Praxismethode“ (P-M) summiert das Produkt aus dem Erwartungswert der Kostentragweite $T_{E,i,j,k}$ und Eintrittswahrscheinlichkeiten $P(W)_{i,j,k}$ aller Einzelrisiken des Projektes j auf.

Der Erwartungswert der Risikokosten eines Projektes j ergibt sich zu:

$$R_{E,projekt,j,k} = \sum_{i=1}^n T_{E,i,j,k} * P(W)_{i,j,k}$$

Die P-M ist deterministisch und repräsentiert eine Eintrittshäufigkeit von $P(W) = \alpha = 50\%$, diese wird in 50% aller Fälle unterschritten und in 50% aller Fälle überschritten. In Wirklichkeit treten Risiken nach dem Zufallsprinzip, d.h. niemals zusammen und zur gleichen Zeit, sondern willkürlich innerhalb ihrer Wahrscheinlichkeitsverteilung auf. Mit Bezug auf den zentralen Grenzwertsatz der Stochastik [34] kann die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion und die kumulative Verteilungsfunktion der Risikokosten des Projektes j durch den Erwartungswert der Risikokosten $R_{E,projekt,j,k}$ und der Varianz $\sigma_{projekt,j,k}^2$ der Risikokosten bestimmt werden.

Die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion ist in diesem Fall quasi-normalverteilt und unabhängig von der Dichtefunktion eines jeden Risikos, wenn die Anzahl der Risiken hoch genug ist (z.B. ≥ 10).

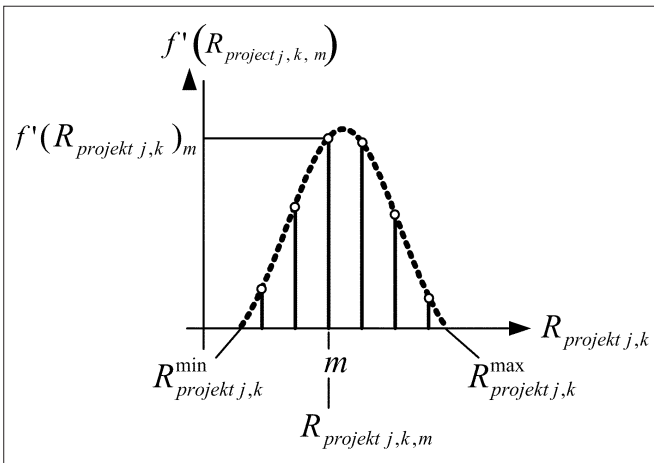


Bild 3. Dichtefunktion der Risikokosten des Projektes j auf Basis der MSC-Simulation
 Fig. 3. Density function of risk cost in project j based on MSC-Simulation

Die Monte-Carlo Simulation (MCS) ist ein hervorragend geeignetes Instrument, um einzelne Risiken zu einem Gesamtprojektrisiko durch Simulation verschiedener Szenarien zu kumulieren oder um sämtliche Projektrisiken auf der Ebene der strategischen Geschäftseinheit oder sogar auf die Unternehmensebene zu superaggregieren.

Die MCS wird angewandt, um mittels Zufallszahlen (z. B. Latin Hypercube) zufallsbedingte Risikoereignisse in jedem Szenario zu genieren, welches eines von vielen Simulationsdurchläufen repräsentiert (Berechnungen). Das MCS verwendet zwei Zufallszahlen.

Die erste Zufallszahl $Z(W)_{i,j,k} = \{0 \vee 1\}$ bestimmt das Ein- bzw. Nichteintreten eines Risikos. Im Falle der Eintrittswahrscheinlichkeit von $P(W)_{i,j,k} = \alpha_{i,j,k}$ wird in sämtlichen Simulationsdurchläufen $I_l = n_l \leq \infty$ die Eintrittszufallszahl $Z(W)_{i,j,k} = 0$ in $1 - \alpha_{i,j,k}$ Fällen und bei $Z(W)_{i,j,k} = 1$ in $\alpha_{i,j,k}$ Fällen eintreten.

Die zweite Zufallszahl $Z(T_{i,j,k}) = \{Z(T_{i,j,k}) \in \mathfrak{R} \mid (0 \leq Z(T_{i,j,k}) \leq 1)\}$ dient zur Bestimmung der Ausprägung der Tragweite, welche aus der kumulativen Verteilungsfunktion der Risikokostentragweite $F(T_{i,j,k})$ eines jeden Risikos i im spezifischen Simulationsdurchlauf l_l ermittelt wird.

Mittels MSC werden in den $n_1 > n_l \sim 10'000$ Szenarien bzw. Simulationen folgende Rechenabläufe durchgeführt:

Ermittlung der Risikokosten des Risikos i im Intervall der Tragweite $[T_{min,i,j,k}, T_{max,i,j,k}]$ des Szenario l_1 :

$${}^l R_{i,j,k} = \{ {}^l R_{i,j,k} \mid {}^l R_{i,j,k} = {}^l T_{i,j,k} (P_{i,j,k,l_1}) * {}^l P_{i,j,k}(W_i) = \left(\begin{matrix} 0 \rightarrow {}^l P_{i,j,k}(W_i=0) = 1 - \alpha \\ T_{i,j,k} \rightarrow {}^l P_{i,j,k}(W_i=1) = \alpha \end{matrix} \right) \}$$

Ermittlung der Projektrisikokosten des Szenario l_1 :

$${}^l R_{projekt j,k} = \left(\sum_{i=1}^n {}^l R_{i,j,k} \right)$$

$$R_{projekt j,k,m} = \{ R_{projekt j,k,m} = {}^l R_{projekt j,k} \mid R_{projekt j,k,m} \in \mathfrak{R} \mid R_{projekt j,k}^{min} \leq R_{projekt j,k,m} \leq R_{projekt j,k}^{max} \}$$

Dichtefunktion aus der MSC-Simulation nach $n_1 = 10'000$ Szenarien (Bild 3).

mit:

$f(T_{i,j,k,l_1})$ – diskrete Dichtefunktion von $T_{i,j,k}$

$f(R_{projekt j,k})$ – stetige Dichtefunktion von $R_{projekt j,k}$ nach der MCS

Normierung der MSC-Dichtefunktion f' der Projektrisikokosten j auf die Fläche $A = 1$ (Bild 4):

$$f(R_{projekt j,k}) = f \frac{f'(R_{projekt j,k,m})}{\int_{R_{projekt j,k}^{min}}^{R_{projekt j,k}^{max}} f'(R_{projekt j,k,m}) dR}$$

Der Erwartungswert der Risikokosten des Projektes j:

$$R_{E, projekt j,k} = \int_{R_{projekt j,k}^{min}}^{R_{projekt j,k}^{max}} R_{projekt j,k} \times f(R_{projekt j,k}) dR_{j,k}$$

Varianz der Risikokosten des Projektes j:

$$\sigma_{projekt j,k}^2 = \int_{R_{projekt j,k}^{min}}^{R_{projekt j,k}^{max}} (R_{projekt j,k} - R_{E, projekt j,k})^2 \times f(R_{projekt j,k}) dR_{j,k}$$

$$f(R_{projekt j,k}) = f(R_{E, projekt j,k}; \sigma_{projekt j,k}^2)$$

$$f(R_{projekt j,k}) = f(R_{E, projekt j,k}; \sigma_{projekt j,k}^2)$$

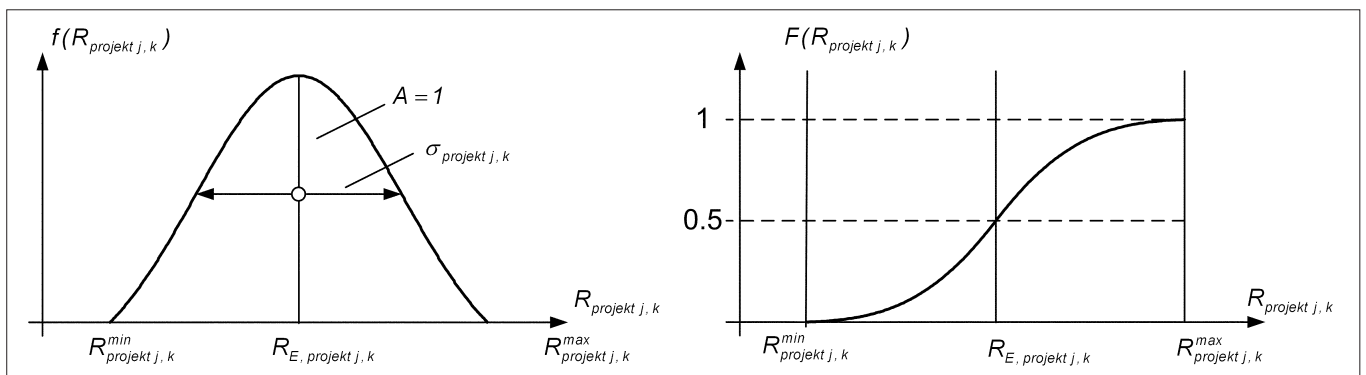


Bild 4. Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion und kumulative Verteilungsfunktion der Risikokosten des Projektes j
 Fig. 4. Probability density function and cumulative distribution function of risk cost in project j

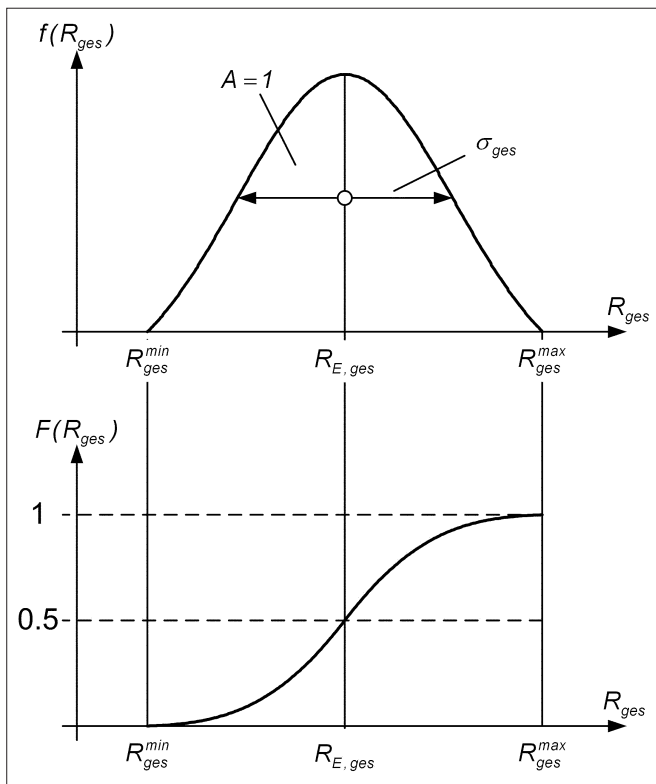


Bild 5. Probabilistische Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion und kumulative Verteilungsfunktion der Gesamtunternehmensrisikokosten
 Fig. 5. Probability total risk cost density function and cumulative distribution function of enterprise

$(R_{projekt\ j,k})_m$ = Szenarienergebnis im Intervall m der Risikokosten des Projektes j
 Kumulative Verteilungsfunktion der Risikokosten des Projektes j (Bild 4):

$$F(R_{projekt\ j, k}) = \int_{R_{projekt\ j, k}^{min}}^{R_{projekt\ j, k}^{max}} f(R_{projekt\ j, k}) dR$$

4.1.2 Risikoaggregation auf SGE_k- und Gesamtunternehmensebene
 Entsprechend dem zentralen Grenzwertsatz der Stochastik können die kumulierten Risikogesamtkosten und die Varianz der Risikokosten auf der strategischen Geschäftseinheit SGE_k und der Gesamtunternehmensebene entsprechend Girmscheid/Busch [1] wie folgt formuliert werden.

Auf der strategischen Geschäftseinheit SGE_k:

$$R_{E, SGE_k} = \sum_j R_{E, projekt\ j, k}$$

$$\sigma_{SGE_k}^2 = \sum_j \sigma_{projekt\ j, k}^2$$

Auf der Gesamtunternehmensebene:

$$R_{E, ges} = \sum_k \sum_j R_{E, projekt\ j, k} = \sum_k R_{E, SGE_k}$$

$$\sigma_{ges}^2 = \sum_k \sum_j \sigma_{projekt\ j, k}^2 = \sum_k \sigma_{SGE_k}^2$$

Die probabilistischen Dichtefunktionen und kumulativen Verteilungsfunktionen der Risikokosten ergeben sich wie folgt (Bild 5).

Funktionen in Bezug auf die strategischen Geschäftseinheiten SGE_k:

$$f(R_{SGE_k}) = f(R_{E, SGE_k}; \sigma_{SGE_k}^2)$$

$$F(R_{SGE_k}) = F(R_{E, SGE_k}; \sigma_{SGE_k}^2)$$

Funktionen in Bezug auf die Gesamtunternehmensebene:

$$f(R_{ges}) = f(R_{E, ges}; \sigma_{ges}^2)$$

$$F(R_{ges}) = F(R_{E, ges}; \sigma_{ges}^2)$$

- i Index für Projektrisiken (0 ≤ i ≤ n)
- l₁ Index für Simulationsläufe an MCS (l₁ = n₁ ≤ ∞)
- j Index für Anzahl der Projekte je SGE
- k Index für Anzahl von SGE im Unternehmen

4.2 Cashflow-Risiko-Modell und Vermögen-/Gewinn-Risiko-Modell

Das Cashflow-Risiko-Modell (CRM) und das Vermögens-/Gewinn-Risiko-Modell (VRM) sollen zeigen, wie das Gesamtrisiko und insbesondere das mit den unterschiedlichen Bauverträgen verbundene Gesamtprojektrisiko den Cashflow und den Gewinn des Unternehmens beeinflussen. Mit dem CRM und VRM kann das Unternehmen auch das probabilistische Sicherheitsniveau ihrer Risikoprämie bzw. den Risikozuschlag in den einzelnen Projekten ableiten, um den Cashflow und die Gewinnziele vorherzusagen.

Bei projektorientierten Unternehmen, wie z. B. den Bauunternehmen, hängt die Hauptrisikobelastung direkt mit dem Wertschöpfungsprozess der Leistungserstellung ihrer vertraglich vereinbarten Projekte zusammen. Aus diesem Grund konzentriert sich diese Veröffentlichung auf die Projektrisiken der A-B-Risiko-Kategorien solcher Unternehmen. Das Modell kann aber auf alle Arten von wirtschaftlichen Risiken erweitert werden.

Sobald die Projektanalyse nach Girmscheid [1], [2] und Girmscheid/Busch [3] abgeschlossen worden ist, werden projektorientierte Unternehmen die deterministische Risikoprämie festlegen, welche vom gewählten probabilistischen Sicherheitsniveau sowie von der zu erwartenden deterministischen Gewinnprämie abhängt, entscheiden. Zusammen mit der holistischen kumulativen Gesamtkostenrisiko-Verteilungsfunktion bilden diese zwei deterministischen Werte die Basis für das CRM und das VRM. Das CRM und das VRM wurden entworfen, um die auferlegte Risikolast im Vergleich zur Risikotragfähigkeit im Hinblick auf den dynamischen Cashflow und das Vermögen/den Gewinn des Unternehmens zu messen.

4.2.1 Entwicklung des CRM und des VRM

Wir nehmen für projektorientierte Unternehmen an, dass das nicht projektbezogene Risiko im Vergleich zur Höhe der projektbezogenen Risiken vernachlässigt werden kann. Folglich nehmen wir zur Darstellung vereinfachend an, dass die gesamte Unternehmensrisikobelastung mit der Gesamtprojektrisikobelastung des Unternehmens übereinstimmt:

$$R_{E, projekt\ ges} \approx R_{E, ges} \text{ und } R_{projekt\ ges} \approx R_{ges} \text{ mit}$$

$$\sigma_{projekt\ ges}^2 \approx \sigma_{ges}^2 \text{ und } f(R_{ges}) = f(R_{E, ges}, \sigma_{ges}^2) \approx$$

$$\approx f(R_{projekt\ ges}) = f(R_{E, projekt\ ges}; \sigma_{projekt\ ges}^2)$$

$$F(R_{ges}) \approx F(R_{projekt\ ges}) = F(R_{E, projekt\ ges}; \sigma_{projekt\ ges}^2)$$

Das CRM und das VRM werden entwickelt, indem man einen Zielreferenzpunkt in der kumulativen Verteilungsfunktion der Gesamtkostenrisiken kreiert, welcher als Gewinn-Verlust-Umkehrpunkt bezeichnet werden kann. Anhand dieses Umkehrpunktes kann festgestellt werden, ob im Falle eines Risikoeintrittes noch ein Gewinn oder bereits ein Verlust auftritt.

Zusätzlich zu diesem Umkehrpunkt kann die Grenze der Risikobelastungslimite unter Berücksichtigung der vorhandenen Risikodeckung im CRM und im VRM festgestellt werden. Wenn in einem projektorientierten Unternehmen die Projekte lediglich als die Quelle von Cashflow und Gewinn berücksichtigt werden, ist der Umkehrpunkt entweder die deterministische Summe der Projekt-Cashflow-Prämien $CF_{kalk, ges}$ beim CRM oder der Projekt-Gewinn-Prämien $G_{kalk, ges}$ beim VRM und der Riskoprämie $R_{kalk, ges}$.

$RCF = R_{kalk, ges} + CF_{kalk, ges}$ im Falle des CRM und

$RG = R_{kalk, ges} + G_{kalk, ges}$ im Falle des VRM.

Um das CR- und VR-Modell für den vom Risiko beeinflussten Cashflow und Gewinn zu entwerfen, muss zu Beginn der Referenzpunkt gleich dem verbleibenden Restrisiko des Unternehmens gesetzt werden. Aus diesem Grund werden das CRM und das VRM durch das Umwandeln der kumulativen Verteilungsfunktion der Gesamtprojektrisiken in eine Cashflow-Risikofunktion und eine Vermögen-/Gewinn-Risikofunktion entwickelt durch:

1. Spiegelung sowohl der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion als auch der kumulativen Verteilungsfunktion der Gesamtunternehmensrisikokosten an der $f(R_{ges})$ -Achse (**Bild 6**) mit:

$$f(R_{projekt ges}) \Rightarrow f(-R_{projekt ges})$$

$$F(R_{projekt ges}) \Rightarrow F(-R_{projekt ges})$$

2. Transformieren der Nullpunktordinate der spiegelbildlichen Dichtefunktion und Verteilungsfunktion der Gesamttrisikokosten mit (**Bild 7-10**):

$$R_{trans}^{CF} = R_{min} + R^{CF}; \quad \text{mit } R^{CF} = R_{kalk, ges} + CF_{kalk, ges}$$

$$R_{trans}^G = R_{min} + R^G; \quad \text{mit } R^G = R_{kalk, ges} + G_{kalk, ges}$$

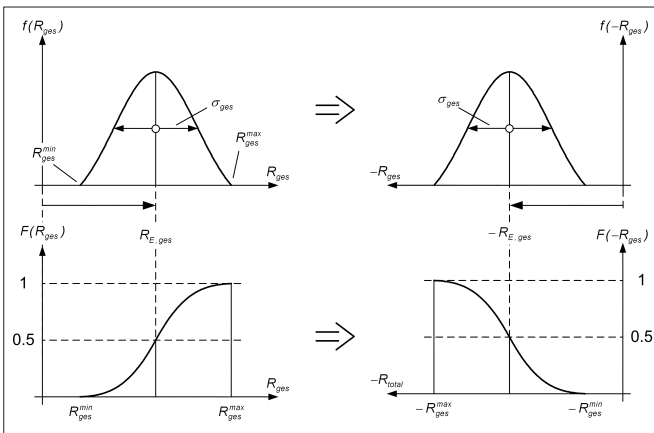


Bild 6. Spiegelung der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion und kumulative Verteilungsfunktion
Fig. 6. Mirror image of risk cost density and cumulative function

- Die neuen Funktionen werden wie folgt bezeichnet:
- CRM: $F(CF_{projekt ges})$ – Cashflow-Risikofunktion (Bild 10)
 - VRM: $F(G_{projekt ges})$ – Vermögen-/Gewinn-Risikofunktion (Bild 9)

Spiegelungsprozess:

$$f(R_{projekt ges}) = f(R_{E, projekt ges}; \sigma_{projekt ges}^2) \rightarrow$$

$$\rightarrow f(-R_{projekt ges}) = f(-R_{E, projekt ges}; \sigma_{projekt ges}^2)$$

$$F(R_{projekt ges}) = F(R_{E, projekt ges}; \sigma_{projekt ges}^2) \rightarrow$$

$$\rightarrow F(-R_{projekt ges}) = F(-R_{E, projekt ges}; \sigma_{projekt ges}^2)$$

Transformationsprozess – horizontale Verschiebung:
Transformierte gesamtunternehmerische Risikodichtefunktion in SGE/Unternehmens-Vermögen-/Gewinn-Risiko-Dichtefunktion:

$$f(-R_{projekt ges} + R_{trans}^G) = f((-R_{projekt ges} + R_{trans}^G), \sigma_{projekt ges}^2)$$

$$f\{-R_{projekt ges} + (R_{min} + R_{kalk, ges} + G_{kalk, ges})\} =$$

$$= f\{-R_{E, projekt ges} + R_{min} + R_{kalk, ges} + G_{kalk, ges}\}; \sigma_{projekt ges}^2\}$$

$$\stackrel{def}{=} f(G_{projekt ges})$$

Transformierte gesamtunternehmerische Risikoverteilungsfunktion in SGE/Unternehmens-Vermögen-/Gewinn-Risikofunktion:

$$F(-R_{projekt ges} + R_{trans}^G) = F((-R_{projekt ges} + R_{trans}^G), \sigma_{projekt ges}^2)$$

$$F\{-R_{projekt ges} + (R_{min} + R_{kalk, ges} + G_{kalk, ges})\} =$$

$$= F\{-R_{E, projekt ges} + R_{min} + R_{kalk, ges} + G_{kalk, ges}\}; \sigma_{projekt ges}^2\}$$

$$\stackrel{def}{=} F(G_{projekt ges})$$

Analoge Herleitung des Cashflow-Risiko-Modells (CRM):
Cashflow-Risiko-Dichtefunktion:

$$f\{-R_{projekt ges} + (R_{min} + R_{kalk, ges} + CF_{kalk, ges})\} \stackrel{def}{=} f(CF_{projekt ges})$$

Cashflow-Risikofunktion:

$$F\{-R_{projekt ges} + (R_{min} + R_{kalk, ges} + CF_{kalk, ges})\} \stackrel{def}{=} F(CF_{projekt ges})$$

4.3 Risikobelastungs-Szenario-Modell und Risikobelastungsdimension

Entsprechend der Portfoliotheorie von Markowitz [18] wird die Risikobelastung, welche den erwarteten Cashflow oder Gewinn gefährdet, „value at risk“ (VaR) genannt und gliedert sich in folgenden Wertgrößen:

- Cashflow – Cashflow at Risk (CFaR)
- Gewinn – Earnings at Risk (EaR).

Die CFaR und das EaR sind Belastungsgrößen, welche den deterministisch zu erwarteten Cashflow und Gewinn gefährden.

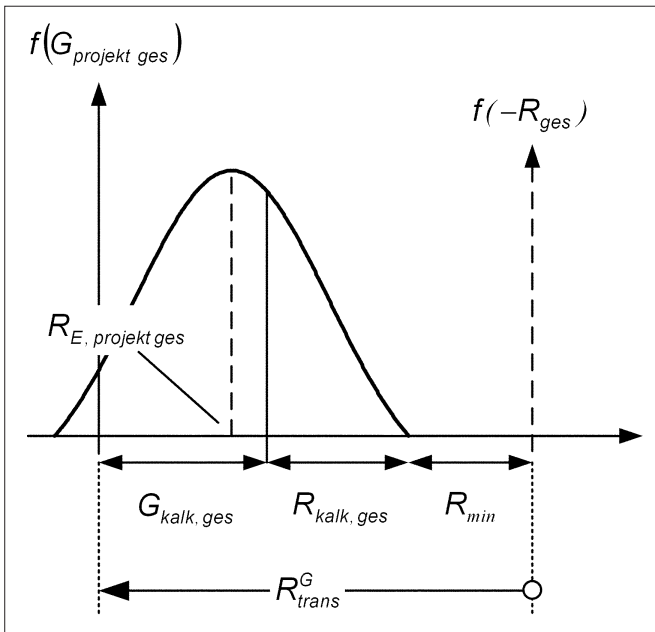


Bild 7. Vermögens-/Gewinn-Risiko-Dichtefunktion des VRM
 Fig. 7. Asset/Profit risk density function of the ARM
 $f\{-R_{\text{projekt ges}} + (R_{\text{min}} + R_{\text{kalk, ges}} + G_{\text{kalk, ges}})\}_{\text{def}} = f(G_{\text{projekt ges}})$

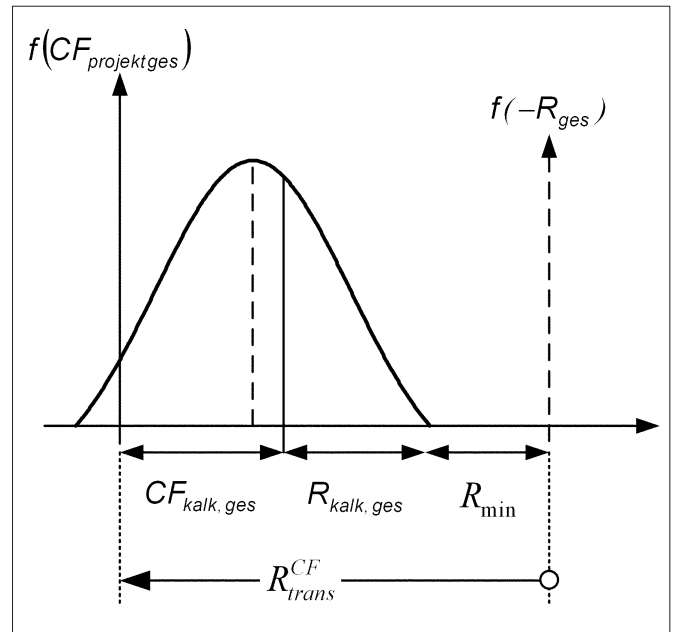


Bild 8. Cashflow-Risiko-Dichtefunktion des CRM
 Fig. 8. Cash flow risk density function of the CRM
 $f\{-R_{\text{projekt ges}} + (R_{\text{min}} + R_{\text{kalk, ges}} + CF_{\text{kalk, ges}})\}_{\text{def}} = f(CF_{\text{projekt ges}})$

4.3.1 Risikobelastung-Szenario-Modell

Um die Unternehmen vor übermäßig gefährlichen wirtschaftlichen Risiken zu schützen, werden die folgenden Risikobelastungsgrenzen gebildet, welche unterhalb der ökonomischen Risikotragfähigkeit eines Unternehmen liegen müssen (Bild 11):

- Normalbelastungsszenario stellt eine normale Risikobelastung dar, welche die deterministische Risikoprämie R_{kalk} übersteigt und z.B. durch $\text{VaR}_{\alpha=60}$ limitiert wird. Das „Normalbelastungsszenario“ stellt eine statistische Annahmefgrenzung von $\alpha_N = 60\%$ dar und wird nur in $(1 - \alpha) = 40\%$ aller Fälle überstiegen. Das bedeutet, dass der Cashflow $CF_{\alpha=60\%}$

sowie den Gewinn $G_{\alpha=60\%}$ in $\alpha_N = 60\%$ erreicht und nur in 40% aller Fälle nicht erreicht wird.

- Stressbelastungsszenario stellt eine hohe Risikobelastung dar, welche die deterministische Risikoprämie R_{kalk} übersteigt und z.B. durch $\text{VaR}_{\alpha=90\%}$ limitiert wird. Das „Stressbelastungsszenario“ stellt eine statistische Annahmefgrenzung $\alpha_S = 90\%$ dar und wird nur in $(1 - \alpha) = 10\%$ aller Fälle übertroffen. Das bedeutet, dass der Stress-Cashflow $CF_{\alpha=90\%}$ sowie der Stress-Gewinn $G_{\alpha=90\%}$ in $\alpha_S = 90\%$ aller Fälle erreicht wird.
- Crashbelastungsszenario stellt eine übermäßige Risikobelastung dar, welche die deterministische Risikoprämie R_{kalk} übersteigt und z.B.

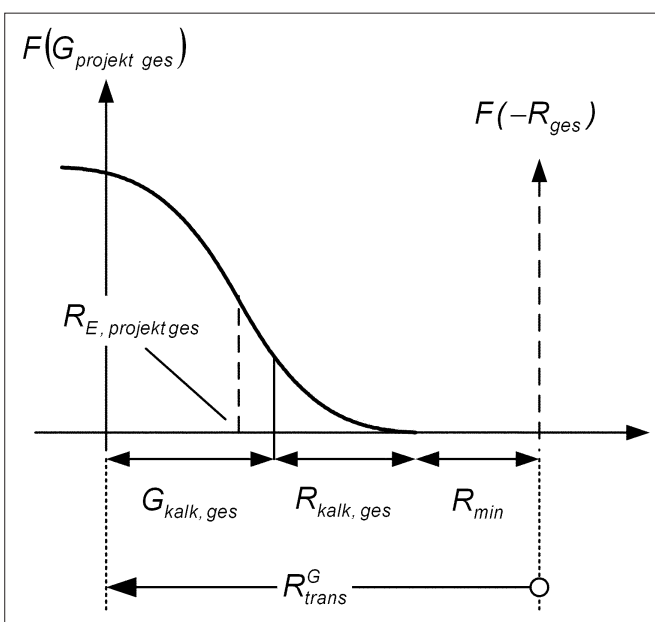


Bild 9. Vermögens-/Gewinn-Risikofunktion des VRM
 Fig. 9. Asset/Profit risk function of the ARM
 $F\{-R_{\text{projekt ges}} + (R_{\text{min}} + R_{\text{kalk, ges}} + G_{\text{kalk, ges}})\}_{\text{def}} = F(G_{\text{projekt ges}})$

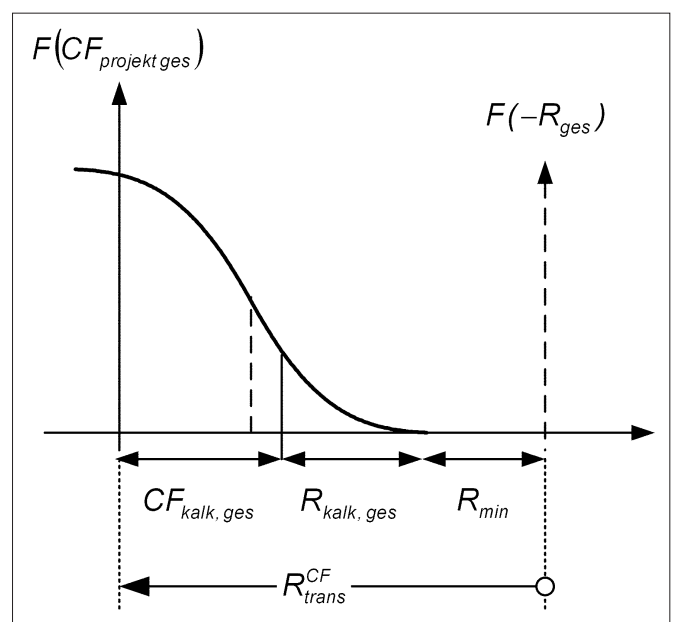


Bild 10. Cashflow-Risikofunktion des CRM
 Fig. 10. Cash flow risk function of the CRM
 $F\{-R_{\text{projekt ges}} + (R_{\text{min}} + R_{\text{kalk, ges}} + CF_{\text{kalk, ges}})\}_{\text{def}} = F(CF_{\text{projekt ges}})$

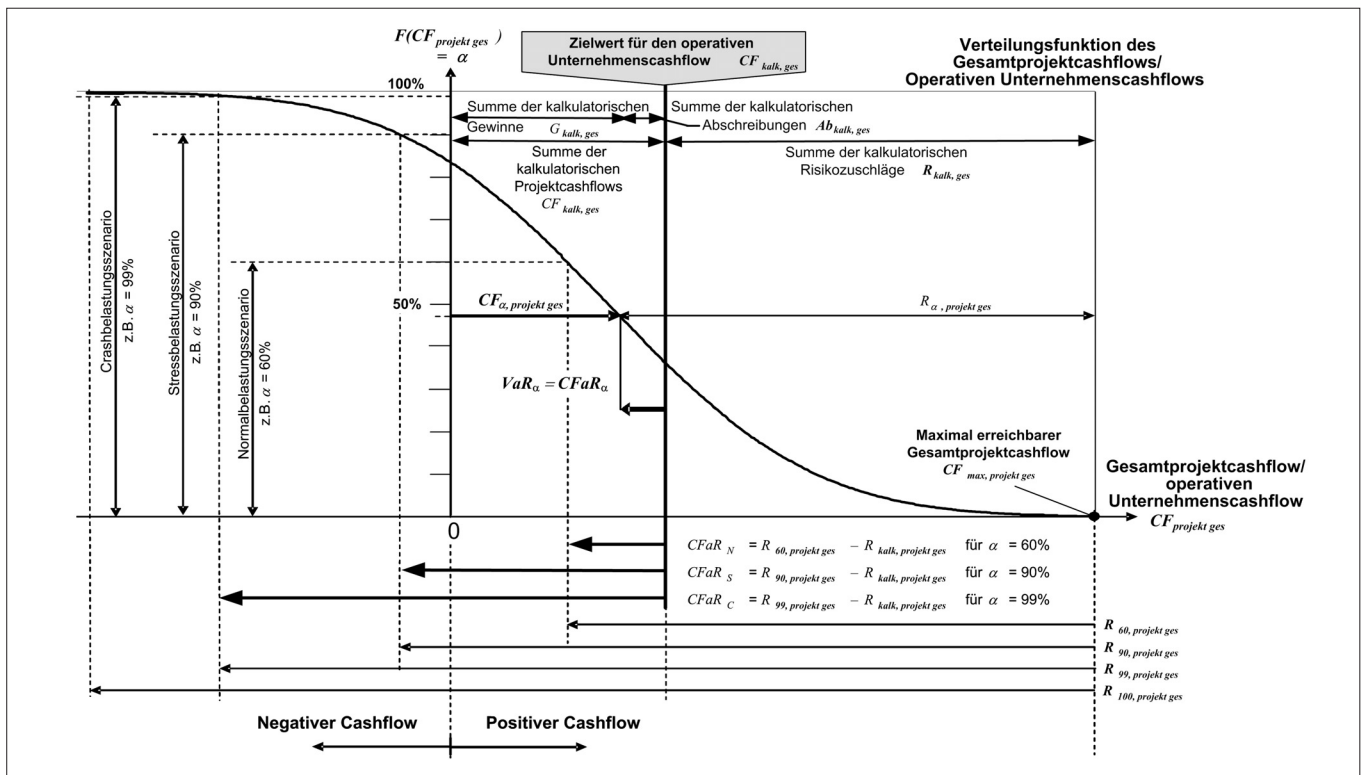


Bild 11. Cashflow-Risikoverteilungsfunktion der CRM – Risikobelastungsgrenzen im Risikobelastungs-Szenario-Modell
 Fig. 11. Cash flow risk function of CRM – Risk load limits of Risk load scenario model

durch $VaR_{\alpha=99\%}$ limitiert wird. Die „Crashbelastungsszenario“ stellt eine statistische Annahmebegrenzung $\alpha_C = 99\%$ dar und wird nur in $(1 - \alpha) = 1\%$ aller Fälle überstiegen. Das bedeutet, dass der Crash-Cashflow $CF_{\alpha=99\%}$ sowie der Crash-Gewinn $G_{\alpha=99\%}$ in $\alpha_C = 99\%$ aller Fälle erreicht wird.

4.3.2 Risikobelastungs-Theorem

Die Ableitung des „cash flow at risk“ CFaR anhand der unterschiedlichen „Belastungsszenarien“ $\{N, S, C\}$ kann entsprechend Bild 11 hergeleitet werden:

$$\begin{aligned}
 (CFaR)_{n=NSC} &= \left\{ (CFaR)_{n=NSC} \mid (CFaR)_{n=NSC} = \right. \\
 &= \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} - R_{kalk, ges} \cdot (1) \\
 &\text{für } \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} > R_{kalk, ges} \cdot (1) \\
 &\vee (CFaR)_{n=NSC} = 0 \\
 &\left. \text{für } \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} \leq R_{kalk, ges} \cdot (1) \right\}
 \end{aligned}$$

Analog kann die Belastungsdimension „earnings at risk“ EaR anhand der unterschiedlichen „Belastungsszenarien“ $\{N, S, C\}$ abgeleitet werden:

$$\begin{aligned}
 (EaR)_{n=NSC} &= \left\{ (EaR)_{n=NSC} \mid (EaR)_{n=NSC} = \right. \\
 &= \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} - R_{kalk, ges} \cdot (1) \\
 &\text{für } \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} > R_{kalk, ges} \cdot (1) \\
 &\vee (EaR)_{n=NSC} = 0 \\
 &\left. \text{für } \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} \leq R_{kalk, ges} \cdot (1) \right\}
 \end{aligned}$$

Invarianz der Risikobelastungsdimension:

Die mathematische Ableitung des „cash flow at risk“ (CFaR) sowie des „earnings at risk“ (EaR) führt schlussendlich zur Invarianz des Risikobelastungs-Theorem in Bezug zu den vermögens- und finanzorientierten Werten der Unternehmen.

Folglich gilt:

$$(EaR)_{n=NSC} = (CFaR)_{n=NSC} = (VaR)_{n=NSC}$$

Das Risikobelastungs-Theorem „value at risk“ wird anhand der drei Belastungsszenarien berechnet:

$$\begin{aligned}
 (VaR)_{n=NSC} &= \left\{ (VaR)_{n=NSC} \mid (VaR)_{n=NSC} = \right. \\
 &= \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} - R_{kalk, ges} \cdot (1) \\
 &\text{für } \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} > R_{kalk, ges} \cdot (1) \\
 &\vee (VaR)_{n=NSC} = 0 \\
 &\left. \text{für } \left(R_{\alpha, projekt ges} \right)_{n=NSC} \leq R_{kalk, ges} \cdot (1) \right\}
 \end{aligned}$$

Risikobelastungs-Theoreme:

Risikobelastung des Projektes j:

$$VaR_j = (R_{\alpha_j, projekt j} - R_{kalk, projekt j})$$

Risikobelastung der SGE k:

$$VaR_k = \sum_j VaR_j = \sum_j (R_{\alpha_j, projekt j} - R_{kalk, projekt j})$$

Risikobelastung des Unternehmens:

$$VaR = \sum_k \sum_j VaR_{j,k} = \sum_k \sum_j (R_{\alpha_j, \text{projekt } j} - R_{kalk, \text{projekt } j})$$

5 Fazit

Mit Hilfe des Risikoaggregations-Theorem, dem Cashflow-Risiko-Modell und Vermögens-/Gewinn-Risiko-Modell sowie dem Risiko-Belastungs-Szenario-Modell in Verbindung mit dem Risikobelastungs-Theorem, können Bauunternehmen ihre Risiken auf allen Unternehmensebenen darstellen und über den kalkulierten Gewinn sowie Cashflow die Auswirkungen des Risikoeintritts beurteilen. Die Gliederung der Risikobelastung in Normal-, Stress- und Crashbelastung in Abhängigkeit probabilistischer Sicherheitsniveaus gibt einen vertieften Einblick mit welchen Unsicherheiten die Unternehmen rechnen müssen.

Mit diesem „bottom-up“-Ansatz ist es den projektorientierten Unternehmen möglich Transparenz bezüglich ihrer Gewinn-Risiko-Situation zu schaffen da sie ihre Risikobelastung auf allen organisatorischen Einheiten ermitteln können.

Mit dem im Folgeheft zu entwickelnden Risikotragfähigkeitskalkül das sich aus den finanz- und vermögensorientierten Ressourcen zusammensetzt können die Unternehmen gezielt ihre Risiken steuern und bewusst eingrenzen und somit nachhaltige Werte schaffen.

Dies führt zu einer vertrauensbildenden Struktur in der Bauwirtschaft mit einer win-win-Situation für die Kunden und den Beschaffungsmarkt (Banken, Zulieferer).

Literatur

- [1] *Girmscheid, G.* (2001): Ganzheitliches Risikomanagement in Bauunternehmen. In: Bauingenieur (D), Vol. 76, 6/2001, p. 287–293
- [2] *Girmscheid, G.; Busch, T.* (2005): Ganzheitliches Risikomanagement in Generalunternehmungen. Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zurich, 2005
- [3] *Girmscheid, G.; Busch, T.* (2003): Risikomanagement in Bauunternehmen – Projektrisikomanagement in der Angebotsphase. In: Bauingenieur, Vol. 78, 12/2003, p. 571–580
- [4] *Mehr, R. J.; Hedges, B. A.* (1963): Risk Management in the Business Enterprise. Irwin, Homewood (IL/USA), 1963
- [5] *Cristy, J. C.* (1965): Fundamentals of Risk Management. In: Long, J. D.; Gregg, D.W (Eds.): Property and Liability Insurance Handbook. Homewood (IL/USA), 1965, p. 1085–1100
- [6] *Curran, M. W.* (1989): Range Estimating – Measuring Uncertainty and Reasoning with Risk. In: Cost Engineering, Vol. 31, 3/1989, p. 18–26
- [7] *Brakensiek, T.* (1991): Die Kalkulation und Steuerung von Ausfallrisiken im Kreditgeschäft der Banken. In: Schierenbeck, H. (Ed.): Band 44 der Schriftenreihe des Instituts für Kreditwesen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Frankfurt a. M., 1991
- [8] *Oehler, A. (Ed.)* (2002): Kreditrisikomanagement: Kernbereiche, Aufsicht und Entwicklungstendenzen. 2. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2002
- [9] *Kahn, F.* (1992): Using Option Pricing Theory to Value Assets. In: Global Finance, 1992
- [10] *Schierenbeck, H.* (1999): Bankaufsichtsrechtliche Risikobegrenzung – Aktuelle Empfehlungen des Basler Ausschusses für Bankenaufsicht. In: Schierenbeck, H. (Ed.): Risk Controlling in der Praxis. NZZ Verlag, Zürich, 1999, p. 19–68
- [11] *Thommen, J.-P.* (1999): Betriebswirtschaftslehre – Band 1: Unternehmung und Umwelt, Marketing, Material- und Produktionswirtschaft. 4. Auflage, Versus Verlag, Zürich, 1999
- [12] *Williams, T. M.* (1993): Risk-Management Infrastructures. In: International Journal of Project Management. Elsevier, Oxford (GB), 1/1993, p. 5–10
- [13] *Smith, N. J.* (1999): Managing Risk in Construction Projects. Blackwell Science, Oxford (GB), 1999
- [14] *Parkinson, J. R.* (1976): The role of the risk manager in industry and commerce. London (GB), 1976
- [15] *Beaver, W. H.; Parker, G.* (1995): Risk Management: Problems & Solutions. McGraw-Hill, New York (USA), 1995
- [16] *Chapman, C.; Ward, S.* (1997): Project Risk Management – Processes, Techniques and Insights. John Wiley & Sons, Chichester (GB), 1997
- [17] *Flanagan, R.; Norman, G.* (2000): Risk Management and Construction. Blackwell Science, Oxford (GB), 2000
- [18] *Markowitz, H. M.* (1991): Portfolio Selection – Efficient Diversification of Investments. 2nd ed., Blackwell Publishers, Oxford (GB), 1991
- [19] *N.N.* (2005): Group of 30 (G-30 Report). http://www.riskglossary.com/link/group_of_30_report.htm, 2005
- [20] *Schierenbeck, H.; Lister, M.* (2001): Value Controlling: Grundlagentextorientierter Unternehmensführung. Oldenbourg, München, 2001
- [21] *Miller, M. H.; Scholes, M.* (1972): Rates of Return in Relation to Risk: A Reexamination of Recent Findings. In: Jensen, M. C. (Ed.): Studies in the Theory of Capital Markets. Praeger, New York, 1972, p. 47–78
- [22] Basler Ausschuss für Bankenaufsicht (1996): Änderungen der Eigenkapitalvereinbarungen zur Einbeziehung der Marktrisiken. Basel, 1996
- [23] *Schwartz, R. J.; Smith, C. W.* (1993): Advanced Strategies in Financial Risk Management. New York Institute of Finance, New York, 1993
- [24] *Berry, A.; Phillips, J.* (1998): Enterprise Risk Management: Pulling it Together. In: Risk Management, 09/1998, p. 53–58
- [25] *Kremers, M.* (2002): Risikoübernahme in Industrieunternehmen – Der Value-at-Risk als Steuerungsgröße für das industrielle Risikomanagement dargestellt am Beispiel des Investitionsrisikos. In: Hölscher, R. (Ed.): Schriftenreihe Finanzmanagement, Band 7. Sternenfels Verlag, Berlin, 2002
- [26] RiskMetrics Group (1999): Corporate Metrics – The Benchmark for Corporate Risk. Technical Document, New York, 1999
- [27] *Guba, E. G.; Lincoln, Y. S.* (1994): Competing paradigms in qualitative research. Chapter 6 (p. 105–118). In: Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (Eds.): Handbook of Qualitative Research. 2nd ed., Sage Publications, Thousand Oaks (CA/USA), 1994
- [28] *Girmscheid, G.* (2004): Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, Zürich, 2004
- [29] *Yin, R. K.* (2002): Case Study Research – Design and Methods. 3rd ed., Sage Publications, Thousand Oaks (CA/USA), 2002
- [30] *Boulding, K.* (1956): General Systems Theory. In: Journal Information for Management Science, Vol. 2, 3/1956, p. 197–208
- [31] *v. Bertalanffy, L.* (1968): General System Theory. 9th revised ed., George Braziller, New York, 1968
- [32] *Stachowiak, H.* (1989): Kybernetik. In: Seiffert, H.; Radnitzky, G. (Eds.): Handlexikon zur Wissenschaftstheorie. Ehrenwirth Verlag, München, 1989, S. 182–186
- [33] *Vose, D.* (1996): Quantitative Risk Analysis – A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling. John Wiley & Sons Ltd., Chichester (GB), 1996
- [34] *Sachs, L.* (2002): Angewandte Statistik. Springer, Berlin/New York, 2002
- [35] *Girmscheid, G.* (2005): Angebots- und Ausführungsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmen. Springer, Berlin/New York, 2005