

ÖGG – Richtlinie

Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur

unter Berücksichtigung relevanter Projektrisiken

Gesamtverantwortung:
(ohne Titel)

Vavrovsky Georg-Michael
Galler Robert

ÖGG – Vorstandsvorsitzender
ÖGG – Fachsektionsleiter Tunnelbau

Review im Auftrag der ÖGG:
(in alphabetischer Reihenfolge, ohne Titel)

Ayaydin Nejad
Jodl Hans Georg
John Max
Lauffer Harald
Schneider Eckhart
Schubert Peter
Schubert Wulf
Stadler Gert
Vigl Alois

ÖGG – Vorstandsmitglied
Technische Universität Wien
ÖGG – Fachbeirat
ÖGG – Vorstandsmitglied
Universität Innsbruck
IC Interdisziplinäre Consulente ZT GmbH
ÖGG – Stv. Vorstandsvorsitzender
Technische Universität Graz
ÖGG – Fachbeirat

Gesamtleitung des Arbeitskreises:
(ohne Titel)

Pöttler Rudolf
Schweiger Helmut F.

ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH
TU Graz, Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Mitglieder der Arbeitsgruppe Kostenmanagement:
(in alphabetischer Reihenfolge, ohne Titel)

Hager Hubert
Jöbstl Wolfgang
Kolic Davorin
Lauffer-Neumann Dagmar
Link Doris
Mathoi Thomas
Oberegger Markus
Petschacher Markus
Pfanner Martin
Stempkowski Rainer
Vavrovsky Georg-Michael

t.b.w. technik und bauwirtschaft ZT GmbH
ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH
Neuron Consult ZT
Geoconsult ZT GmbH
Fachhochschule Campus Wien
Universität Innsbruck
ASFINAG
ZT-Büro Petschacher
ÖBB-Infrastruktur Bau AG
FH Joanneum
ÖBB-Infrastruktur Bau AG

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	1
2	ZIELSETZUNG UND GELTUNGSBEREICH	2
2.1	Zielsetzung	2
2.2	Geltungsbereich und Abgrenzungen	2
3	PHASEN, STRUKTUREN UND GLIEDERUNGEN	4
3.1	Phasen des Projektablaufes	4
3.2	Projektstrukturierung	5
3.2.1	Planungsphase	5
3.2.2	Ausführungsphase	5
3.2.3	Sonstige Gliederungen	6
3.3	Kostengliederung	6
4	EINBINDUNG DER KOSTENERMITTLUNG IN DAS KOSTENMANAGEMENT	7
5	GRUNDLAGEN DER KOSTENERMITTLUNG	8
5.1	Stufen der Kostenermittlung	8
5.1.1	Kostenrahmen	8
5.1.2	Kostenschätzungen	8
5.1.3	Kostenberechnung	8
5.1.4	Kostenanschlag	9
5.1.5	Kostenverfolgung	9
5.1.6	Kostenfeststellung	9
5.1.7	Objektauswertung	9
5.2	Methoden der Kostenermittlung	10
5.2.1	Kennwertmethode	11
5.2.2	Elementmethode	11
5.2.3	Leistungsgruppenmethode	11
5.2.4	Positionsmethode	11
5.3	Zusammensetzung der Gesamtkosten	11
5.3.1	Basiskosten	13
5.3.2	Gesamtkosten	13
5.3.3	Kostenansätze für Risiken	13
5.4	Gliederung der Kostenansätze für Risiken	14
5.4.1	Risikosphären	14
5.4.2	Projektphasen	15
5.4.3	Verantwortungsebenen	16
5.5	Kostenentwicklung in Folge von Preisänderungen	16
5.6	Eigenleistungen des Errichters	17
6	ERMITTLUNG DER BASISKOSTEN	18
6.1	Deterministische Verfahren	18
6.2	Verfahren mit Bandbreiten	18
6.3	Probabilistische Verfahren	18

7	ERMITTLUNG DER KOSTENANSÄTZE FÜR RISIKEN.....	20
7.1	Risikomanagement als Kreislauf.....	20
7.2	Methoden der Risikobewertung.....	20
7.3	Richtwerte – Planungsphase.....	20
7.3.1	Kostenansatz U_E	21
7.3.2	Kostenansatz U_B	22
7.4	Richtwerte – Ausführungsphase.....	23
7.5	Quantitative Risikobewertung.....	23
7.5.1	Risiken bei Verkehrsinfrastrukturprojekten.....	23
7.5.2	Identifikation von Risiken – Risikoszenarien.....	24
7.5.3	Einschätzung der Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten.....	24
7.5.4	Zuordnung der Risiken zu einzelnen Kostengruppen.....	26
7.5.5	Kombination von Risiken.....	26
8	ERMITTLUNG DER GESAMTKOSTEN.....	28
9	MITGELTENDE RICHTLINIEN.....	29
10	LITERATUR.....	30
11	ANHANG.....	32

1 VORWORT

Die Realisierung von Verkehrsinfrastrukturprojekten wird von einer Vielzahl an komplexen Einflüssen begleitet. Die allgemein verbreitete Erwartungshaltung, dass ein Bauvorhaben unter definierten Randbedingungen in der geplanten Zeit und im vorher veranschlagten Kostenrahmen abgewickelt werden sollte, stellt daher an derartige Projekte höchste Anforderungen an Planung und Controlling. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass die tatsächlichen Kosten von Verkehrsinfrastrukturprojekten oftmals erheblich über den ursprünglich geschätzten und veranschlagten Kosten lagen. Als Ursache wird hierfür gerne der unbekannte Baugrund und die damit einhergehenden Schwierigkeiten ins Treffen geführt. Eine Analyse der konkreten Einzelfälle führt jedoch meist zu anderen, in ihrer Art sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Die Österreichische Gesellschaft für Geomechanik sieht sich daher veranlasst, mit der vorliegenden Richtlinie zur „Kostenermittlung von Verkehrsinfrastrukturprojekten“ einen Beitrag zur Kostenstabilität und finanziellen Planbarkeit derartiger Investitionsvorhaben zu leisten.

Die Projektkosten sind bei risikobehafteten Verkehrsinfrastrukturprojekten nicht im Voraus exakt berechenbar, sondern müssen über eine lange Projektphase hinweg auf Basis einer noch nicht konsolidierten Projektkenntnis abgeschätzt werden. Dabei fehlen vielfach aussagekräftige Vergleichsdaten, da Großprojekte des Verkehrswegebbaus aufgrund der jeweiligen projektspezifischen Randbedingungen meist mit Prototypen gleichzustellen sind. Die zu erwartenden Kosten sind daher oft erst nach Vorliegen aller Genehmigungen und detailliert durchgeplanter Bauprojekte realistisch einschätzbar. Aus diesen Gründen spielt die fachkompetente Erfassung der potentiellen Kostenrisiken sowie die umsichtige Berücksichtigung noch nicht konkret bekannter, aber aus Erfahrung nicht zu vernachlässigender Kosteneinflüsse während der Planungsphase eine entscheidende Rolle bei der Kostenermittlung von Verkehrsinfrastrukturprojekten.

Besonders in frühen Projektphasen müssen in den Kostenannahmen die wesentlichen Kostenbestandteile aus den diversen Risikosphären (z.B. Besteller- und Errichtersphäre) in sachgerechtem Ausmaß Berücksichtigung finden. In der Regel ist hierfür eine auf die jeweilige Planungstiefe abgestimmte Evaluierung und Bewertung der relevanten Risiken durchzuführen.

Grundsätzlich sollte die Richtlinie bei allen Verkehrsinfrastrukturprojekten angewandt werden, wobei die Tiefe der einzelnen Schritte projektspezifisch festzulegen ist.

Die Richtlinie behandelt nicht den Einfluss des Bauherrn auf die veranschlagten Kosten. Dieser Einfluss resultiert aus der Projektmanagement- und Fachkompetenz des Bauherrn, insbesondere bei der Auswahl der Planer sowie bei der Festlegung der Aufgabenstellung und Betreuung der Leistungserbringung.

Glück Auf!

Salzburg, im Oktober 2005

Rudolf PÖTTLER

Helmut F. SCHWEIGER

Georg-M. VAVROVSKY

2 ZIELSETZUNG UND GELTUNGSBEREICH

2.1 Zielsetzung

Zielsetzung der Richtlinie ist:

- Die Vereinheitlichung von Vorgangsweisen und Berechnungsmethoden bei der kostenmäßigen Erfassung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen bzw. diese zu verbessern.
- Die Darstellung einheitlicher Grundlagen für die Kostenermittlung von Verkehrsinfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der relevanten Risiken.
- Die Darstellung einer Kostenermittlung basierend auf nachvollziehbaren Ansätzen und Entscheidungen, die wesentlich zum Gelingen des Bauwerks zu veranschlagten Kosten beiträgt und die Bandbreiten des prognostizierten Kostenrahmens abschätzen soll.

2.2 Geltungsbereich und Abgrenzungen

Die vorliegende Richtlinie soll bei Verkehrsinfrastrukturprojekten mit folgenden Abgrenzungen angewendet werden:

Projektarten:

Die Richtlinie wurde für Verkehrsinfrastrukturprojekte erstellt. Die Grundzüge können auch auf andere Bauvorhaben umgelegt werden, wobei die spezifischen Gegebenheiten jeweils gesondert zu berücksichtigen sind.

Projektphasen:

Die Richtlinie umfasst die Phasen der Planung (ab Vorprojekt) und der Ausführung (Bauphase), nicht jedoch die Phase der Projektentwicklung (Programmerstellung).

Verantwortungssphären:

Die Richtlinie beschäftigt sich mit den Kosten und Risiken in der Sphäre des Errichters und Bestellers von Verkehrsinfrastrukturprojekten.

Nicht eingegangen wird auf die Sphäre der ausführenden Firmen (Kalkulationsansätze, Kalkulationsrisiken, Risikoübertragung, etc.) und die Sphäre der Betreiber sowie die damit zusammenhängenden Ansätze für Nutzung, Instandhaltung, Betrieb und Refinanzierung von Verkehrsinfrastrukturbauten.

Eine allgemein gültige Abgrenzung von Besteller- und Errichtersphäre ist aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen kaum möglich. Es obliegt den einzelnen Gesellschaften, auf sie zutreffende Abgrenzungen vorzunehmen. Dies gilt insbesondere für Projekte, die auf Basis PPP/BOT etc. abgewickelt werden.

Die Tätigkeit des Bestellers umfasst in der Regel die Definition der Projektziele und Projekthinhalte, die Auftragserteilung an den Errichter und die Abnahme der Leistung des Errichters. Meistens zählt auch die Finanzierung von Projekten zu den Aufgaben des Bestellers.

Die Tätigkeit des Errichters umfasst in der Regel sämtliche Leistungen des Projekt- und Kostenmanagements im Rahmen der Umsetzung des Projektes auf Basis der vorgegebenen Ziele. Wesentliche Leistungsinhalte sind insbesondere die:

- Trassenauswahl
- Genehmigungsplanung
- Behördenverfahren
- Vergabeverfahren
- Vertragsabwicklung für Planung und Ausführung
- Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit
- Übergabe des fertig gestellten Werkes

3 PHASEN, STRUKTUREN UND GLIEDERUNGEN

3.1 Phasen des Projektablaufes

Der Projektablauf ist nach Projektphasen, abgegrenzt durch Meilensteine, zeitlich zu gliedern. In Abbildung 1 sind die Phasen eines Projektablaufes samt möglicher Meilensteine dargestellt. Projektspezifisch kann es erforderlich und zweckmäßig sein, die Phasen und Meilensteine anzupassen oder weitere Phasen und Meilensteine einzuführen.

PROJEKTPHASEN BEI INFRASTRUKTURPROJEKTEN

Projektphasen	Programm (Projektentwicklung)	Vorprojekt	Einreichprojekt	Genehmigung (Behördenverfahren)	Bauprojekt	Bauphase	
Aufgaben	Investitionsprogramm, Grundsatzplanung Konzept	Variantenstudien Vorprojekt Trassenauswahl Vorentwurf	UVP-Planung, Einreichplanung	§ 4-Verfahren, EB-Verfahren, Materienr. Verfahren	Ausschreibungsplanung, Vergabeverfahren	Ausführungsplanung	
Meilensteine	Festlegung Programm	Trassenauswahl	Einreichung (UVE, §4-Verf., EB-Verfahren)	Bewilligung (§4-Bescheid, EB-Bescheid; Mat.r. Bescheide)	Ausschreibung	Vertragsabschluss (Start der Bauphase)	Baufertigstellung (Schlussrechnung)

Abb. 1: Phasen des Projektablaufes mit Meilensteinen

Die einzelnen Phasen eines Projektablaufes beinhalten beispielsweise:

Programm

Investitionsprogramm:

Strategische Infrastrukturplanung mit Bedarfsanalysen, Kosten- Nutzenberechnungen, Finanzierungsstudien und Priorisierungskonzepten

Grundsatzplanung:

Korridorstudien inkl. Strategische Umweltprüfung (SUP)

Meilenstein:

Festlegung des Investitionsprogramms

Vorprojekt

Variantenstudien – Vorprojekt - Trassenauswahl – Vorentwurf:

Studie für unterschiedliche Varianten inkl. aller erforderlichen Grundlagenuntersuchungen
 Optimierung der Varianten im Zuge des Bürgerbeteiligungsverfahrens
 Reduktion der untersuchten Trassen (z.B. mittels NKU)
 Planung (Vorprojekt) und öffentliche Präsentation der Auswahltrasse

Meilenstein:

Trassenauswahl – Festlegung der ausgewählten Trasse

Einreichprojekt

UVP-Planung, Einreichplanung:

Erstellung der UVE-Unterlagen inkl. aller erforderlichen interdisziplinären Abstimmungen
 Erstellung der Einreichunterlagen für weitere Behördenverfahren
 inkl. div. Maßnahmen zur Grundlagenerhebung (z.B. Erkundungsprogramm)

Meilensteine:

Einreichung der UVE bei der UVP-Behörde

Einreichung des Einreichprojektes bei der Baubehörde (§4 / EB)

Genehmigung

Behördenverfahren:

UVP-Verfahren, § 4-Verfahren, Eisenbahnrechtliches Verfahren (EB), Materienrechtliche Verfahren

Einreichung, Prüfung durch Behörde (ggf. Nachbesserung), Genehmigung / Bescheiderstellung durch Behörde

Meilensteine:

Genehmigungen durch Behörde (UVP-Bescheid, §4-Bescheid, EB-Bescheid, Materienrechtliche Bescheide)

Bauprojekt

Ausschreibungsplanung:

Detailplanung inkl. Erstellung der Ausschreibungsunterlagen

Vergabeverfahren:

Bekanntmachung, Angebotsphase (ggf. Präqualifikation bei zweistufigen Verfahren), Zuschlagsphase mit Bestbieterermittlung inkl. Angebotsprüfung, Zuschlagsbekanntmachung, (ggf. Nachprüfungsverfahren) bis Beauftragung

Meilensteine:

Freigabe der Ausschreibung

Vertragsabschluss

Bauphase

Durchführung der Baumaßnahmen beginnend mit der Beauftragung (Baufeldübernahme) bis zur Fertigstellung des Bauwerkes

Meilensteine:

Baubeginn, geprüfte und anerkannte Schlussrechnung, Inbetriebnahme

3.2 Projektstrukturierung

Ein definiertes Projekt ist zweckmäßigerweise zu strukturieren und dabei in seine Bestandteile aufzugliedern. Als Grundlage für die Kostenermittlung wird bei umfangreicheren Verkehrsinfrastrukturprojekten folgende Strukturierung vorteilhaft sein:

- Planungsphase: physische Gliederung (Objekte als Arbeitspakete)
- Ausführungsphase: auftragsorientierte Gliederung (Verträge als Arbeitspakete)

3.2.1 Planungsphase

Zum Zwecke des Projektcontrollings in der Planungsphase ist ein Projekt in seine physischen Bestandteile zu gliedern. Ein Verkehrsinfrastrukturprojekt setzt sich in der Regel aus einer Anzahl von Abschnitten, Objekten, Bauteilen etc. zusammen. Im Zuge der Strukturierung ist daher darauf zu achten, dass räumlich und geometrisch genau abgegrenzte Einheiten definiert werden.

Im Rahmen der physischen Gliederung eines Projektes sollte bereits Bedacht darauf genommen werden, dass wesentliche Änderungen im Zuge der nachfolgenden Projektphasen vermieden werden und einfache Überleitungen vorgenommen werden können. Dieser Aspekt ist bei Verkehrsinfrastrukturprojekten zur Wahrung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit deshalb von Bedeutung, da sich in der Regel aufgrund des gestreckten zeitlichen Ablaufes einzelne Teile des Projektes in unterschiedlichen Ausführungsstufen oder Bearbeitungstiefen befinden.

3.2.2 Ausführungsphase

In der Phase der Ausführung von Projekten ist eine Strukturierung nach Baulosen und Aufträgen (Werkverträgen) für das Kostencontrolling notwendig. Die auftragsorientierte Gliederung ermöglicht eine klare Kostenzuordnung sowie eine konkrete Kostenverfolgung auf Vertragsebene.

3.2.3 Sonstige Gliederungen

Erforderlichenfalls kann ein Projekt auch nach weiteren logischen Einheiten, wie z.B. nach abschnittsbezogenen, finanzierungstechnischen, organisatorischen oder funktionalen Aspekten gegliedert werden.

3.3 Kostengliederung

Als Grundlage für ein transparentes Kostencontrolling ist eine durchgängige Kostengliederung entscheidend. Diese stellt eine Ordnungsstruktur dar, nach welcher Kosten einer Investitionsmaßnahme einzelnen Kostengruppen zugeordnet werden. Eine durchgängige Kostengliederung ist abgestimmt auf die jeweiligen Erfordernisse eines Auftraggebers festzulegen, wobei im Allgemeinen von einer Gliederung entsprechend der folgenden Kostengruppen ausgegangen werden soll.

Kostengruppe I (KG I) – Grundeinlöse

Diese Kostengruppe umfasst alle Kosten des Grundstückerwerbs inkl. aller damit verbundenen Nebenkosten wie Gebühren, Servitute, Mieten, etc.

Kostengruppe II (KG II) – Dienstleistungen

Unter Dienstleistungen fallen u.a. folgende Bereiche: Projektentwicklung, technische Beratung und Planung, Gutachten, Projektmanagement, Begleitende Kontrolle, Rechtsberatung, technische Versuche und Analysen, Forschung & Entwicklung, Markt- und Meinungsforschung, Unternehmensberatung. Im Weiteren fallen alle im BVergG 2002 unter §4 angeführten Leistungen unter Dienstleistungen.

Kostengruppe III (KG III) – Bauleistungen

Unter Bauleistungen fallen u.a. folgende Bereiche: Allgemeines Baugewerbe, Rohbaugewerbe / Hochbau, Tiefbau, Bauinstallation, Hausbaugewerbe, Ausbaugewerbe sowie Kosten für direkte Umweltmaßnahmen. Im Weiteren fallen alle im BVergG 2002 unter §3 angeführten Leistungen unter Bauleistungen. Dazu zählen auch die elektrotechnische, fernmeldetechnische und sicherheitstechnische Einrichtung sowie die Lieferung und der Einbau von Schienen, Schwellen und Weichen beim Eisenbahnbau.

Die Kosten der Eigenleistungen des Errichters und ggf. des Bestellers werden in Abhängigkeit des Inhalts den jeweiligen Kostengruppen zugeordnet.

Die Finanzierungskosten sind in dieser Kostengliederung nicht berücksichtigt.

4 EINBINDUNG DER KOSTENERMITTLUNG IN DAS KOSTENMANAGEMENT

Das **Kostenmanagement** umfasst die Gesamtheit aller Maßnahmen im Rahmen der Kostenermittlung und des Kostencontrolling. Ein effizientes Kostenmanagement hat kontinuierlich alle Phasen der Projektterrichtung vom Beginn der Planung bis zur Inbetriebnahme zu begleiten.

Die Kostenvorgabe für ein Projekt folgt aus der Kostenplanung, die auf einer inhaltlich fundierten **Kostenermittlung** aufbauen soll. Die Kostenermittlung hat den Charakter einer vorausschauenden Prognose, welche im Wesentlichen dazu dient, die mutmaßlichen Projektkosten nach Projektabschluss im Voraus möglichst treffsicher einzuschätzen. Hierzu bedarf es neben einer realistischen Einschätzung der Preisentwicklung auch geeigneter Grundlagen und Berechnungsmethoden. Wesentlich bei der Kostenermittlung ist insbesondere auch die fachkompetente Erfassung potentieller Risiken und die Berücksichtigung von entsprechenden Risikovorsorgen.

Das **Kostencontrolling** umfasst die Summe aller Tätigkeiten, die erforderlich sind, um die Zielkonformität im Hinblick auf die Kostenvorgabe zu überprüfen und eventuelle Abweichungen vorweg zu erkennen. Das Ergebnis ist die transparente Darstellung des Kostenstatus. Das Kostencontrolling agiert streng nach dem Prinzip des kybernetischen Regelkreises und ist eine Tätigkeit, die sich periodisch wiederholt. Die Durchführung des Kostencontrollings wird auf Projektebene vorgenommen und besteht im Wesentlichen aus der Erstellung von Kostenprognosen (periodisch oder zu bestimmten Meilensteinen) und der Durchführung des Soll/Ist-Vergleiches. Ferner zählt zum Kostencontrolling die Erstellung von Abweichungsanalysen und die Ausarbeitung von Maßnahmen zur Kostenoptimierung samt zugehörigen Risikoanalysen.

Auf die Bereiche des Kostencontrollings (inkl. Kostensteuerung) wird im Rahmen der gegenständlichen Richtlinie nicht näher eingegangen.

5 GRUNDLAGEN DER KOSTENERMITTLUNG

5.1 Stufen der Kostenermittlung

Bezugnehmend auf die einzelnen Phasen des Projektablaufes (Kapitel 3.1) werden die nachfolgenden Stufen der Kostenermittlung vorgeschlagen (Abbildung 2).

PROJEKTPHASEN BEI INFRASTRUKTURPROJEKTEN

Projektphasen	Programm (Projektentwicklung)	Vorprojekt	Einreichprojekt	Genehmigung (Behördenverfahren)	Bauprojekt	Bauphase	
Aufgaben	Investitionsprogramm, Grundsatzplanung Konzept	Variantenstudien Vorprojekt Trassenauswahl Vorentwurf	UVP-Planung, Einreichplanung	§ 4-Verfahren, EB-Verfahren, Materienr. Verfahren	Ausschreibungsplanung, Vergabeverfahren	Ausführungsplanung	
Meilensteine	Festlegung Programm	Trassenauswahl	Einreichung (UVE, §4-Verf., EB-Verfahren)	Bewilligung (§4-Bescheid, EB-Bescheid; Mat.r. Bescheide)	Ausschreibung	Vertragsabschluss (Start der Bauphase)	Baufertigstellung (Schlussrechnung)
Stufen der Kostenermittlung	Kostenrahmen	Kostenschätzungen (KS)		Kostenberechnung	Kostenanschlag	Beginn Kostenverfolgung, periodisch	Kostenfeststellung

Abb. 2: Phasen des Projektablaufes und Stufen der Kostenermittlung

5.1.1 Kostenrahmen

Der Kostenrahmen stellt eine erste grobe Kostenannahme dar und wird mit der Kennwertmethode auf Basis von längen-, flächen- und kubaturbezogenen Baukostenkennwerten sowie Prozentanteilen ermittelt. Er wird im Zuge der Projektphase der Programm- bzw. Projektentwicklung erstellt. Die Ergebnisse dieser groben Kostenannahme genügen bei Verkehrsinfrastrukturprojekten nicht, um einen bindenden Investitionsrahmen abzustecken. Die wenigen Grundlagen des frühen und unzureichenden Planungsstandes erlauben keine Angabe von seriösen Kostenobergrenzen. Ein bindender Investitionsrahmen für ein Verkehrsinfrastrukturprojekt soll daher die Kostenberechnung nach Abschluss aller wesentlichen Bewilligungen als Basis haben.

5.1.2 Kostenschätzungen

Mit zunehmender Projektkenntnis werden im Zuge des Vor- und Einreichprojektes die Kostengrundlagen als Basis der Kostenschätzungen schrittweise verfeinert. Die Erstellung bzw. Fortschreibung der Kostenschätzungen soll in Abhängigkeit der Planung in mehreren Schritten – möglichst zu vorher definierten Meilensteinen – erfolgen.

Je nach Detaillierungsgrad der Planung kann sowohl die Element- als auch die Leistungsgruppenmethode angewendet werden. Zur Verifizierung des Ergebnisses wird ein Plausibilisierungs-Check empfohlen, bei welchem zweckmäßigerweise die Kennwertmethode (Kapitel 5.2) angewendet werden soll.

5.1.3 Kostenberechnung

Sobald alle wesentlichen Genehmigungen für das Bauwerk vorliegen, können größere Projektänderungen im Regelfall ausgeschlossen werden. Daher ist es sinnvoll, zu diesem Zeitpunkt eine detailliertere Kostenberechnung zu erstellen. Grundlage für die Berechnung der Kosten ist eine Massenermittlung für alle Elemente bzw. Positionen. Die Kostenberechnung erfolgt am Ende der

Genehmigungsphase oder im Zuge der Erarbeitung des Bauprojektes für die Hauptbaulose des Rohbaus. In der Regel baut somit die Kostenberechnung auf der Detailplanung für die Bauauschreibung auf.

Grundsätzlich können die Element-, die Leistungsgruppen- und die Positionsmethode (Kapitel 5.2) angewendet werden. Bei neuartigen Baumethoden sollen entsprechende Kalkulationen zur Kostenberechnung durchgeführt werden.

Wesentlicher Bestandteil der Kostenberechnung ist auch die sachgerechte Ermittlung der durch Preissteigerungen (Valorisierung) induzierten Kosten auf Basis des wahrscheinlichen Bauablaufes sowie auf Basis der Prognose realistischer Preis- und Indexsteigerungen.

5.1.4 Kostenanschlag

Der Kostenanschlag wird in der Ausschreibungsphase erstellt, basiert auf den bauteilspezifischen Ausschreibungsunterlagen und stellt ein Auspreisen der Leistungsverzeichnisse für die einzelnen Teilleistungen (z.B. Baulose) dar. Er dient als Grundlage für die Beurteilung der Preisangemessenheit im Zuge der Angebotsprüfung.

Grundsätzlich wird für die Berechnung des Kostenanschlages die Positionsmethode empfohlen.

5.1.5 Kostenverfolgung

Während der Bauphase erfolgt im Rahmen der Kostenverfolgung eine periodische Kontrolle und Hochrechnung der Projektkosten (mutmaßliche Kosten nach Projektabschluss). Dazu ist die gesamte Kostenprognose einer Fortschreibung unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausschreibungsergebnisse zu unterziehen. Die Projektkosten setzen sich dabei zusammen aus den Kosten der bereits erbrachten Leistungen, den prognostizierten Kosten für noch zu erbringende Leistungen, einer angemessenen Kostenvorsorge für noch bestehende Risiken sowie den Kosten zufolge der Teuerung bis Bauende.

5.1.6 Kostenfeststellung

Am Ende der Bauwerkserstellung werden, nachdem alle Schlussrechnungen anerkannt sind, die tatsächlichen Gesamtkosten des Projektes festgestellt. Das Ergebnis der Kostenfeststellung ist Grundlage für die Anlagenverwaltung und Abschreibung und dient auch der Nachkalkulation der wichtigsten Einheitspreise sowie der Objektauswertung zur Gewinnung von Baukostenkennwerten.

5.1.7 Objektauswertung

Auf Basis der Kostenfeststellung können im Zuge einer Objektauswertung Baukostenkennwerte für bestimmte Bezugsgrößen und Einheiten ermittelt werden. Diese sind in der Regel eine wertvolle Datenbasis für die Kostenermittlung künftiger Projekte.

Objektkennzahlen sind Verhältniszahlen, sollten jedoch hinsichtlich der jeweiligen Datenquelle möglichst in Bezug zu den charakteristischen Projekteigenschaften gesetzt werden. Im Tiefbau sollte jedenfalls auch ein Bezug zu den relevanten Baugrundverhältnissen hergestellt werden.

5.2 Methoden der Kostenermittlung

In den einzelnen Stufen der Kostenermittlung (Kapitel 5.1) gelangen unterschiedliche Methoden zur Anwendung (Abbildung 3).

PROJEKTPHASEN BEI INFRASTRUKTURPROJEKTEN

Projektphasen	Programm (Projektentwicklung)	Vorprojekt	Einreichprojekt	Genehmigung (Behördenverfahren)	Bauprojekt	Bauphase	
Aufgaben	Investitionsprogramm, Grundsatzplanung Konzept	Variantenstudien Vorprojekt Trassenauswahl Vorentwurf	UVP-Planung, Einreichplanung	§ 4-Verfahren, EB-Verfahren, Materienr. Verfahren	Ausschreibungsplanung, Vergabeverfahren	Ausführungsplanung	
Meilensteine	Festlegung Programm	Trassenauswahl	Einreichung (UVE, §4-Verf., EB-Verfahren)	Bewilligung (§4-Bescheid, EB-Bescheid; Mat.r. Bescheide)	Ausschreibung	Vertragsabschluss (Start der Bauphase)	Baufertigstellung (Schlussrechnung)
Stufen der Kostenermittlung	Kostenrahmen	Kostenschätzungen (KS)		Kostenberechnung	Kostenanschlag	Beginn Kostenverfolgung, periodisch	Kostenfeststellung
Methode der Kostenermittlung	Kennwertmethode	Kennwert- und Elementmethode		Methode entsprechend dem Planungsstand: Element-, Leistungsgruppen-, Positionsmethode	Positionsmethode	Positionsmethode	

Abb. 3: Phasen des Projektablaufes, Stufen und Methoden der Kostenermittlung

Die Ermittlung der mutmaßlichen Projektendkosten eines Bauvorhabens ist als iterativer Prozess zu sehen, der mit fortschreitender Projektkenntnis und Planungstiefe immer genauer wird. Für jede Kostenermittlung sind verschiedene Berechnungsschritte notwendig, die jeweils an den Informationsgehalt und an die Detaillierung der zu Grunde liegenden Planung angepasst sein müssen. Je nach Informationsgehalt und Detaillierung der Planung können verschieden Methoden angewendet werden. Eine Kombination dieser Methoden in einem Kostenermittlungsschritt ist zulässig und kann unter Umständen die Qualität einer Kostenaussage entscheidend verbessern.

Zur Ermittlung der Kosten im Verkehrsinfrastrukturbau werden hauptsächlich folgende Methoden verwendet:

- Kennwertmethode (KW)
- Elementmethode (EM)
- Leistungsgruppenmethode (LG)
- Positionsmethode (POS)

Bei großen und komplexen Bauvorhaben wird dem Errichter empfohlen, die von der Projektleitung erstellte Kostenermittlung durch einen unabhängigen Dritten überprüfen zu lassen. Hierbei ist insbesondere auf die angemessene Berücksichtigung des aktuellen Projektkenntnisstandes und der jeweils noch bestehenden Projektrisiken Bedacht zu nehmen. Speziell bei Baumaßnahmen des Tiefbaus ist auch von erheblicher Relevanz, ob die verwendeten Kennzahlen aus Angeboten oder Schlussabrechnungen stammen (Berücksichtigung baugrundbedingter Zusatzkosten). Eine derartige Vorgangsweise trägt dazu bei, die Zuverlässigkeit der Kostenermittlung zu verbessern und deren Ergebnis abzusichern.

5.2.1 Kennwertmethode

Die Kennwertmethode kann insbesondere für die am Anfang eines Projekts stehende Ermittlung des Kostenrahmens Verwendung finden. Sie basiert auf längen-, flächen-, und kubaturbezogenen Baukostenkennwerten. Für einige Kostenbereiche können Kosten auch pauschal oder als %-Ansätze angesetzt werden.

Bei den verwendeten Kostenkennwerten ist im Einzelfall zu prüfen, welche Teile in den Kosten enthalten sind (Baustelleneinrichtung, Bauführungs- und Gerätekosten sowie allgemeine Geschäftskosten, Gewinn bzw. Verlust des ausführenden Unternehmens). Der geplante Ausführungszeitpunkt der Projekte ist bei der Übernahme der Kenndaten zu berücksichtigen (Wertanpassung).

5.2.2 Elementmethode

Die Elementmethode basiert auf einer planungsorientierten Gliederung und setzt eine entsprechend detaillierte Planung mit ausreichender Beschreibung der Baumaßnahmen und Qualitätsanforderungen voraus, aus der sich die einzelnen Elementmengen ermitteln lassen. Die Berechnung erfolgt über elementbezogene Baukostenkennwerte. Es ist daher zweckmäßig, einen so genannten Elementkatalog als Grundlage für die Kostenplanung aufzubauen und fortzuschreiben, in dem für jedes Element die Baukostenkennwerte vorgehalten werden. Für frühe Planungsphasen wird empfohlen Grobelemente zu definieren, die entsprechend dem Projektfortschritt verfeinert werden.

5.2.3 Leistungsgruppenmethode

Die Leistungsgruppenmethode basiert auf einer ausführungsorientierten Gliederung und verwendet einzelne Leistungsgruppen bzw. Unterleistungsgruppen als Basis für die Kostenermittlung. Das Projekt wird dabei in Bauabschnitte oder Bauteile unterteilt.

5.2.4 Positionsmethode

Die Methode der Kostenermittlung nach Positionen eines Leistungsverzeichnisses soll jedenfalls für die Erstellung des Kostenanschlages Anwendung finden. Die Ermittlung der Kosten der einzelnen Positionen erfolgt an Hand von früheren Angebotspreisen (Preisdatenbank). Die Kostenermittlung kann dabei auf die Hauptpositionen der wichtigsten Leistungsgruppen beschränkt werden. Im Tunnelbau sind dies z.B. die Leistungsgruppen Ausbruch, Stützmittel und Innenschale.

Weniger bedeutende Leistungen bzw. Positionen können geschätzt (pauschal oder als prozentualer Zuschlag auf die Hauptpositionen) oder auch als leistungsgruppenbezogene Baukostenkennwerte angegeben werden.

Sofern für eine Leistungsgruppe bzw. Position keine oder nur ungenügende Erfahrungswerte (fehlende Preisdatenbank) vorliegen, wird empfohlen diese Preise auf Positionsebene zu kalkulieren.

5.3 Zusammensetzung der Gesamtkosten

Ziel der Kostenermittlung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten ist die vollständige und nachvollziehbare Darstellung der voraussichtlichen Gesamtkosten von Projekten oder von Projektteilen. Da die Errichtung von Verkehrsinfrastrukturprojekten im Regelfall langjährige Investitionen bedingt und

darüber hinaus zahlreiche Risiken birgt, empfiehlt sich eine Gliederung der Gesamtkosten (Abbildung 4) in

- Basiskosten (B),
- Kostenansätze für Gleitung und Wertanpassung (G),
- Kostenansätze für Risiken (R),
- Kostenansätze für Vorausvalorisierung (V).

Die Kostenansätze für Risiken sind hinsichtlich der **Projektphase** zu gliedern in

- Kostenansätze für Risiken in der Planungsphase (U - Unbekanntes)
- Kostenansätze für Risiken in der Ausführungsphase (Z - Zusätzliche Kosten)

Die Kostenansätze für Risiken sind hinsichtlich der **Risikosphäre** zu gliedern in

- Kostenansätze für Risiken aus der Errichtersphäre (U_E, Z_E)
- Kostenansätze für Risiken aus der Bestellersphäre (U_B, Z_B)

Für die Ermittlung der einzelnen Bestandteile der Gesamtkosten stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, welche je nach Projektphase und Datenbasis Anwendung finden.

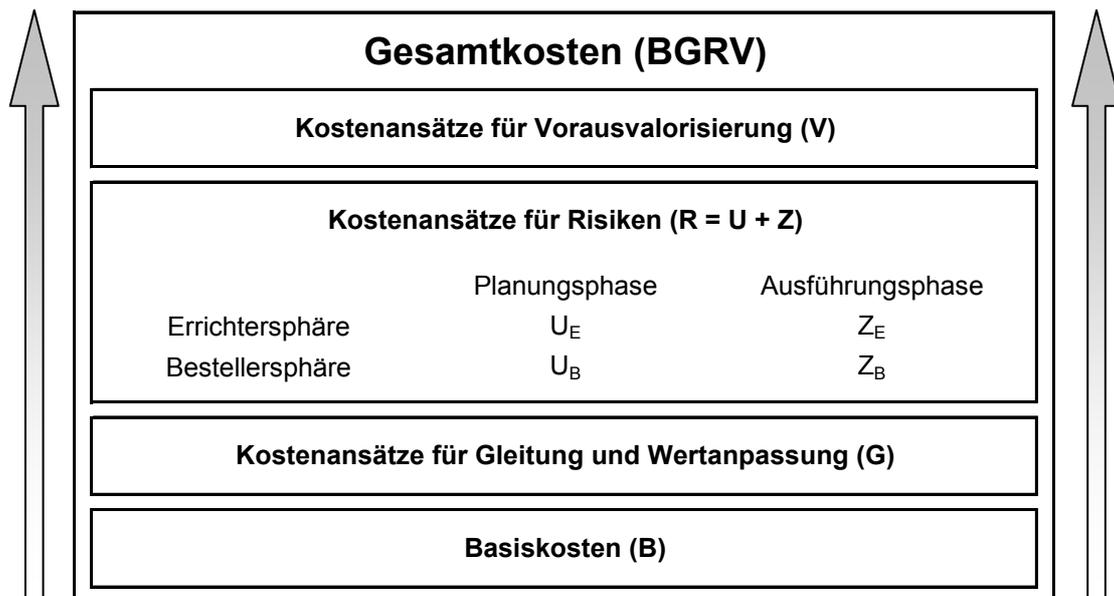


Abb. 4: Bestandteile der Gesamtkosten (BGRV)

5.3.1 Basiskosten

Grundlage der Basiskosten (B) sind definierte Annahmen für Bausoll, Projektablauf und Marktverhältnisse. Die Basiskosten enthalten keine Kostenansätze für Risiken, Gleitung und Wertanpassung sowie Vorausvalorisierung und sind aufgrund ihrer Marktabhängigkeit stets an einen Zeitpunkt (Preisbasis der Bezugsbasis bzw. Zeitpunkt des Vertragsabschlusses) gebunden.

Als Basiskosten in der Planungsphase werden diejenigen Kosten verstanden, die sich mittels verschiedener Methoden (Kennwertmethode, Elementmethode, Positionsmethode) aus dem jeweiligen Planungs-/Projektstand ermitteln lassen.

Die Basiskosten in der Ausführungsphase setzen sich zusammen aus der Auftragssumme der bereits vergebenen Leistungen, Mehr-/Minderkosten von bekannten Massenmehrungen/-minderungen, den Kosten der bereits vergebenen oder zu vergebenden Zusatzaufträge sowie den Kosten für jene Leistungen (Leistungsbereiche), welche noch nicht vergeben sind oder als Eigenleistungen erbracht werden.

5.3.2 Gesamtkosten

Zur Ermittlung der Gesamtkosten (BGRV) sind zu den Basiskosten (B) die Kostenansätze für Gleitung und Wertanpassung (G), die Kostenansätze für Risiken (R) und die Kostenansätze für Vorausvalorisierung (V) zu addieren.

$$\mathbf{BGRV = B + G + R + V}$$

Die Gesamtkosten eines Projektes stellen die mutmaßlichen Projektkosten nach Projektabschluss (Kostenfeststellung) dar. Ihnen liegt die Annahme eines bestimmten Projektablaufs sowie einer bestimmten Marktpreisentwicklung während der Projektabwicklung zugrunde.

Die fachlichen Grundlagen und die Ermittlung der Kostenansätze für Gleitung, Wertanpassung und für Vorausvalorisierung sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie. In der Praxis der Kostenermittlung bei Verkehrsinfrastrukturprojekten dürfen diese wesentlichen Bestandteile der Gesamtkosten jedoch keinesfalls vernachlässigt werden.

Finanzierungskosten sind die Kosten im Zusammenhang mit der Abdeckung des Mittelbedarfs (Kredit- bzw. Bauzinsen). Die Gesamtkosten im Sinne dieser Richtlinie beinhalten ausdrücklich keine Finanzierungskosten.

5.3.3 Kostenansätze für Risiken

Die Gesamtkosten sollten stets auch eine entsprechende Risikovorsorge in Form von angemessenen Kostenansätzen für die relevanten Risiken beinhalten.

Die Ermittlung der Kostenansätze für Risiken kann im Regelfall auf der Basis von Richtwerten erfolgen. Im Falle eines besonders komplexen, bedeutsamen oder risikobehafteten Projektes sollen zweckmäßigerweise zusätzlich die Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie im Rahmen von quantitativen Risikoberechnungen (z.B. Anwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Monte Carlo Simulation) angewendet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass über die Ergebnisse derartiger Berechnungen hinaus aus Gründen der gebotenen kaufmännischen Sorgfalt weitere Kostenansätze für nicht quantifizierbare, jedoch latent vorhandene Risiken zu berücksichtigen sein werden.

Entsprechend dem Projektfortschritt werden die Kostenansätze für Risiken im Regelfall aufgrund höherer Projektkenntnis zu reduzieren sein.

5.4 Gliederung der Kostenansätze für Risiken

5.4.1 Risikosphären

Als Risikosphäre von Besteller oder Errichter wird der Verantwortungsbereich für die jeweilige Risikotragung verstanden. Die Unterscheidung von Errichter- und Bestellersphäre ist auf das konkrete Verhältnis zwischen Errichter und Besteller zurückzuführen.

Aufgrund seiner Sachkenntnis sowie im Gesamtinteresse des Projekts darf der Errichter seine Risikovorsorgen nicht alleine auf die Risiken aus der Errichtersphäre beschränken, sondern ist verpflichtet, analoge Vorsorgen auch für die Risiken aus der Bestellersphäre vorzunehmen. Im Hinblick auf die gebotene Transparenz und Nachvollziehbarkeit soll jedoch eine klare Trennung zwischen den Kostenansätzen für Risiken aus der Errichtersphäre und den Kostenansätzen für Risiken aus der Bestellersphäre vorgenommen werden.

In der Praxis des Projektkostencontrollings ergeben sich Fragen zur Kostenverantwortung vor allem bei Kostenänderungen gegenüber dem genehmigten Kostenplan (genehmigte Gesamtkosten). Um hier eine einfache und rasche Zuordnung zu ermöglichen, müssen Kostenänderungen der Besteller- oder Errichtersphäre entsprechend definierter Verantwortlichkeiten eindeutig zugeordnet werden (Anhang 1 – **Kostenvorsorge für Projektrisiken**: Abgrenzung am Beispiel der ÖBB Infrastruktur Bau AG).

5.4.1.1 Kostenansätze für Risiken aus der Errichtersphäre

Für Risiken aus der Errichtersphäre sind in der Planungsphase Kostenansätze U_E (Unbekanntes aus der Errichtersphäre) und in der Ausführungsphase Kostenansätze Z_E (Zusätzliche Kosten aus der Errichtersphäre) vorzusehen. Hinsichtlich der Projektphasenzuordnung ist bauteilspezifisch vorzugehen.

Zu den Risiken der Errichtersphäre zählen im Allgemeinen:

- **Planungsrisiken:** Kostenänderungen aufgrund höherer Detaillierung der Planung mit Projektfortschritt bei unverändertem Leistungsinhalt.
- **Grundeinlöserisiken:** Kostenänderungen aus dem Bereich der Grundeinlöse und des Erwerbs von Servituten bei unverändertem Leistungsinhalt.
- **Kostenermittlungsrisiken:** Kostenänderungen aufgrund neuer Einschätzung der Kosten von Leistungen bei unverändertem Leistungsinhalt. Ursache für solche Kostenänderungen sind unter anderem Leistungen, die in der ursprünglichen Kostenermittlung unberücksichtigt blieben, obwohl sie dem Grunde nach bereits bekannt gewesen sein müssten. Eine weitere Ursache liegt z.B. in der Abweichung eines einzelnen Vergabeergebnisses von der Bezug nehmenden Kostenprognose.
- **Vertragsrisiken:** Kostenänderungen, die ihre Ursache in der Umsetzung des Vertrages unter den konkreten Leistungsbedingungen haben.

5.4.1.2 Kostenansätze für Risiken aus der Bestellersphäre

Für Risiken aus der Bestellersphäre sind in der Planungsphase Kostenansätze U_B (Unbekanntes aus der Bestellersphäre) und in der Ausführungsphase Kostenansätze Z_B (Zusätzliche Kosten aus

der Bestellersphäre) vorzusehen. Hinsichtlich der Projektphasenzuordnung ist bauteilspezifisch vorzugehen.

Zu den Risiken der Bestellersphäre zählen im Allgemeinen:

- **Bestelländerungsrisiken:** Kostenänderungen aufgrund der Änderung von Zielvorgaben und Rahmenbedingungen. Dazu zählen Änderungen der Zielsetzungsdaten (z.B. Projektanforderungen, Stand der Technik, politische Entscheidungen) ebenso wie Änderungen von Gesetzen, Verordnungen, Richtlinien und Durchführungsanweisungen (z.B. in Form von Genehmigungsaufgaben).
- **Baugrundrisiken:** Kostenänderungen aufgrund der nicht oder nur unzulänglich bekannten Untergrundverhältnisse (geologische und hydrogeologische Verhältnisse, Altlasten, etc), welche trotz sorgfältiger und dem Stand der Technik entsprechend durchgeführter und umgesetzter Baugrunderkundung auftreten.
- **Genehmigungsrisiken:** Kostenänderungen, die ihre Ursachen in der Abwicklung von Genehmigungsverfahren haben.
- **Finanzierungsrisiken:** Kostenänderungen, die ihre Ursachen im Zeitpunkt und der Art der Bereitstellung finanzieller Mittel durch den Besteller haben.
- **Marktrisiken:** Kostenänderungen, die ihre Ursachen in der allgemeinen Entwicklung der Preise auf den Beschaffungsmärkten des Errichters haben.
- **Risiken aus höherer Gewalt:** Kostenänderungen, die ihre Ursachen in den Auswirkungen höherer Gewalt haben (Erdbeben, Hochwasser, Lawinen, extreme Schneeverhältnisse, Sturm, Umweltkatastrophen, Krieg, Streik u.ä., soweit derartige Ereignisse über ein jeweils übliches langjähriges Mittel hinausgehen).

5.4.2 Projektphasen

Mit dem Übergang eines Projektteils von der Planungsphase in die Ausführungsphase (Vertragsabschluss für bestimmte Leistungen) ändert sich die Grundlage der Basiskosten: Während Kostenermittlungen in der noch nicht konsolidierten Planungsphase meist auf statistisch ermittelten Elementkosten basieren, liegen in der Ausführungsphase in der Regel Leistungsverzeichnisse mit Einheitspreisen sowie Auftragssummen vor.

Jeder Planungsstand ist dadurch gekennzeichnet, dass dem Errichter ein Teilbereich des späteren Bausolls noch nicht bekannt ist (U ... Unbekanntes). Erst mit Abschluss eines (Bau-)Vertrages ist das Bausoll für diesen Projektteil definiert. Allfällige zum Bezugszeitpunkt noch unbekanntes Abweichungen der Bauausführung vom Bausoll führen zu Zusatzaufträgen und damit zu Mehrkosten über die Auftragssumme hinaus (Z ... Zusätzliche Kosten). Um den unterschiedlichen Inhalt sowie die unterschiedliche Basis der Risikovorsorge in Planungs- und Ausführungsphase nachvollziehbar darzulegen, sind die Kostenansätze U getrennt von den Kostenansätzen Z zu ermitteln und darzustellen.

Am Übergang von der Planungs- in die Ausführungsphase ist je Projektteil eine Überarbeitung sämtlicher Kostenansätze auf Basis der Auftragssumme, des vorgesehenen Leistungsfortschrittes (z.B. Bauablauf) und der Regelungen für die Gleitung vorzunehmen.

5.4.2.1 Kostenansätze für Risiken in der Planungsphase

Zur Risikovorsorge für Projektteile in der Planungsphase sind die Kostenansätze U_E (Unbekanntes aus der Errichtersphäre) und U_B (Unbekanntes aus der Bestellersphäre) vorzusehen. Ein Projektteil ist solange der Planungsphase zuzuordnen, als seitens des Errichters keine Beauftragung eines Unternehmers mit der Bauausführung dieses Projektteils erfolgt ist.

5.4.2.2 Kostenansätze für Risiken in der Ausführungsphase

Zur Risikovorsorge für Projektteile (bzw. Baulose) in der Ausführungsphase sind die Kostenansätze Z_E (Zusätzliche Kosten aus der Errichtersphäre) und Z_B (Zusätzliche Kosten aus der Bestellersphäre) vorzusehen. Ein Projektteil ist ab dem Zeitpunkt der Beauftragung eines Unternehmers mit der Bauausführung dieses Projektteils der Ausführungsphase zuzuordnen.

Die Kostenansätze Z_E und Z_B nehmen auf einen konkreten Vertrag zwischen Errichter (Auftraggeber – AG) und Unternehmer (Auftragnehmer - AN) Bezug. Sie dienen zur Abdeckung von zusätzlichen zum Zeitpunkt der Kostenermittlung noch unbekanntem Kosten.

Dies sind insbesondere Kosten zufolge:

- Vertragsanpassungen aufgrund von Abweichungen mit Anspruch des AN auf Entgelt (z.B. Anordnungen des AG, nicht vorhersehbare Ereignisse aus der Sphäre des AG bzw. Zusatzleistungen, Änderungen der Art der Leistung und Änderung der Umstände der Leistungserbringung) und
- Mengenänderungen

5.4.3 Verantwortungsebenen

Die Kostenansätze für Risiken sind entsprechend ihrer Einschätzbarkeit, Beeinflussbarkeit und Verantwortlichkeit auf mehreren Teilebenen:

- Planer und Fachexperte des Errichters
- Projektleiter und Gesamtverantwortlicher auf Seite des Errichters
- Gesamtverantwortlicher des Bestellers

zu ermitteln und anzusetzen (Anhang 1 – **Kostenvorsorge für Projektrisiken**).

5.5 Kostenentwicklung in Folge von Preisänderungen

In die Ermittlung der Gesamtkosten von Verkehrsinfrastrukturprojekten ist auch die Kostenentwicklung in Folge von Preisänderungen aufzunehmen. Diese kann in Kostenansätze für die Gleitung und Wertanpassung (G) sowie für die Vorausvalorisierung (V) untergliedert werden.

Die Gleitung errechnet sich auf Grundlage bestehender vertraglicher Regelungen (z.B. bei Bauverträgen) für den Zeitraum zwischen Vertragsabschluss und aktuellem Bezugszeitpunkt. Die Wertanpassung berücksichtigt die zwischen dem Bezugszeitpunkt der jeweils vorliegenden Basiskostenermittlung und dem aktuellen Bezugszeitpunkt eingetretene Preis- und Indexsteigerung für noch nicht beauftragte Leistungen.

Die Vorausvalorisierung erfasst die ab dem aktuellen Bezugszeitpunkt bis zum Projektende anfallenden Kostensteigerungen sowohl für vergebene als auch für noch nicht vergebene Leistungen und ist demgemäß abhängig vom geplanten Leistungsfortschritt (z.B. Bauablauf), den vertraglichen Regelungen für die Gleitung und den relevanten Indexsteigerungen (Teuerungsraten).

Die fachlichen Grundlagen und die Ermittlung dieser Kostenansätze sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

5.6 Eigenleistungen des Errichters

Unter der Eigenleistung des Errichters wird die Beteiligung des Errichters am Planungs- und Bauausführungsprozess verstanden. Diese Beteiligung kann sich sowohl auf die Bereitstellung von Kapazitäten für Projektmanagement in der Planungs- und Ausführungsphase als auch auf die Beistellung von sonstigen Dienstleistungen und Stoffen erstrecken. Die Behandlung der Kosten für Eigenleistungen des Errichters ist innerhalb von Kostenermittlungen gesondert auszuweisen.

6 ERMITTLUNG DER BASISKOSTEN

Unabhängig von der angewandten Methode der Kostenermittlung ist bei den zugrunde gelegten Baukostenkennzahlen die Schwankungsbreite der Marktpreise zu berücksichtigen. Die allgemeine Entwicklung der Marktpreise ist im Kostenansatz für die Wertanpassung und Vorausvalorisierung zu berücksichtigen.

6.1 Deterministische Verfahren

Die Basiskosten werden beim deterministischen Verfahren abhängig von den angewandten Methoden der Kostenermittlung im Regelfall als Summe der Elementkosten ermittelt. Der Berechnung wird dabei ein fester Wert (Schätzwert) zugrunde gelegt. Die daraus errechneten Basiskosten werden mit einem Prozentauf- oder -abschlag zur Erfassung der üblichen Schwankung versehen. Der Prozentsatz entspricht einem Erfahrungswert. Diese Vorgehensweise ist im Regelfall ausreichend, sofern die Bandbreite der Elementkosten gegenüber der Streubreite der Risiken in den Hintergrund tritt und durch einen angemessenen Ansatz für die Risikovorsorge abgedeckt werden kann.

6.2 Verfahren mit Bandbreiten

Liegen für einzelne Baukostenkennzahlen Bandbreiten vor, können diese nach mathematischen Grundsätzen zu Basiskosten verknüpft werden. Das Ergebnis sind dann Basiskosten mit einer Bandbreite. Über die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens von Kosten innerhalb der errechneten Bandbreite können keine Aussagen getroffen werden. Bei diesem Verfahren werden die geringsten Kosten durch Summation der unteren Werte der Bandbreite und die höchsten Kosten durch Summation der oberen Werte der Bandbreite erhalten. Es empfiehlt sich zusätzlich, auf Basis ingenieurmäßiger Einschätzung einen wahrscheinlichsten Wert der Kosten zu errechnen. Dieser Wert muss nicht den Mittelwert der Bandbreite darstellen und soll als Wert der Basiskosten der Ermittlung der Gesamtkosten einfließen.

6.3 Probabilistische Verfahren

Liegen für die einzelnen Baukostenkennzahlen genügend Einzeldaten vor, kann damit eine statistische Verteilung (Mittelwert, Standardabweichung etc.) errechnet werden. Die Kombination der Einzelelemente führt zu Basiskosten, die in diesem Verfahren mit einer statistischen Verteilung dargestellt werden. Um die Aussagekraft und Übersichtlichkeit der Ergebnisse zu erhöhen, ist es zweckmäßig, die Kurve in eine Quantiledarstellung zu transformieren. Auf der vertikalen Achse werden dabei die Wahrscheinlichkeiten und auf der horizontalen Achse die Kosten angegeben. In die Ermittlung der Gesamtkosten fließen die Basiskosten mit ihrem Medianwert oder mit einem festzulegendem Fraktilwert ein (Abbildung 5).

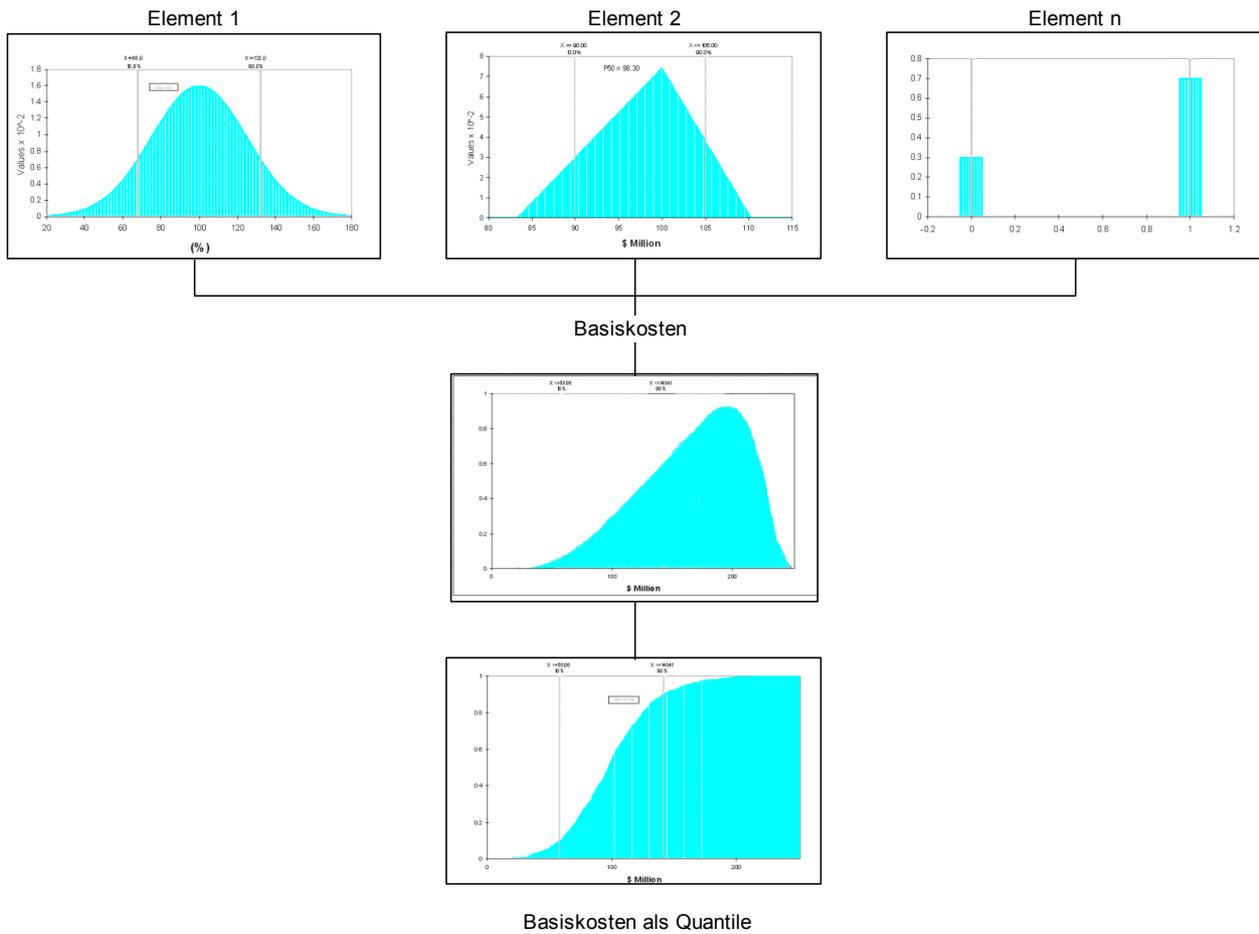


Abb. 5: Schematische Ermittlung der Basiskosten mittels probabilistischem Ansatz

7 ERMITTLUNG DER KOSTENANSÄTZE FÜR RISKEN

7.1 Risikomanagement als Kreislauf

Risikomanagement muss als Prozess und Kreislauf verstanden werden. Der Risikomanagementprozess umfasst die Risikoanalyse, die sich aus der Risikoidentifikation sowie der Risikoeinschätzung zusammensetzt. Der nächste Schritt ist die detaillierte Bewertung des Risikos aus der sich dann die einzelnen Maßnahmen zur Risikobewältigung ergeben. Dazu zählen Risikovermeidung, Risikoübertragung und Risikotragung. In dieser Phase werden im Risikooptimierungsprozess die sich aus den Kriterien der Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit ergebenden sinnvollsten Maßnahmen definiert und umgesetzt.

Im Zuge der Projektabwicklung sind die Risiken mit den Instrumenten der Evaluierung, des Controllings und des Reportings zu verfolgen und zu kontrollieren. Als letzter Schritt im Risikomanagementprozess können bei der Risikonachbetrachtung bei Projektabschluss wichtige Daten für zukünftige Projekte gewonnen werden.

7.2 Methoden der Risikobewertung

Qualitative Methoden

Qualitative Methoden werden zur Erfassung jener Risiken angewandt, bei welchen es aufgrund mangelnder Vorhersehbarkeit nicht möglich ist, Wahrscheinlichkeiten und Ausmaße potentieller Ereignisse mit deren Kosten- bzw. Zeitauswirkungen zu quantifizieren. Die qualitative Bewertung muss sich auf Prognosen und Erfahrungen stützen, die bei ähnlichen Projekten in der Vergangenheit gemacht wurden.

Quantitative analytische Methoden

Die analytische Risikoeinschätzung versucht ganzheitlich, d.h. einschließlich der gegenseitigen Wechselwirkungen auf die relevanten Projektrisiken einzugehen. Hierbei wird sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit wie auch die Höhe der Auswirkungen auf Basis von Erfahrungswerten und Simulationen quantitativ ermittelt. Erst durch die quantitative Betrachtung werden die potentiellen Auswirkungen auf die Kosten und Termine in einem einheitlichen kardinalen Bezugssystem erfasst und mit Geld- und Zeiteinheiten hinterlegt. Detailliertere Berechnungen werden im Allgemeinen erst im Rahmen der Risikobewertung für ausgewählte Risiken mit hoher Auswirkung und/oder Eintrittswahrscheinlichkeit durchgeführt.

Semiquantitative Bewertung

Im Rahmen der Risikoanalyse besteht in einer ersten Risikoeinschätzung auch die Möglichkeit, Risiken quantitativ zu erfassen, in dem diese standardisierten Wahrscheinlichkeitsklassen bzw. standardisierten Auswirkungsklassen zugeordnet werden. Dabei gibt es je nach Projekt und Art der Risiken unterschiedliche Möglichkeiten der Klassifizierungen. Bei der Anwendung von standardisierten Auswirkungsklassen ist jedoch bei der Definition der Klassen und der Zuordnung der Risiken besonders sorgfältig vorzugehen.

7.3 Richtwerte – Planungsphase

Die Ermittlung der Kostenansätze für Risiken wird bei kleinen und mittleren Projekten im Regelfall hinreichend genau auf der Basis von Richtwerten erfolgen können. So werden zum Beispiel im Bereich der ÖBB Infrastruktur Bau AG die in den Kap. 7.3.1 und 7.3.2 angeführten Richtwerte

zur Risikovorsorge bei Verkehrsinfrastrukturprojekten in der Planungsphase verwendet. [siehe Literaturverzeichnis]. Die Richtwerte dienen der Ermittlung von Kostenansätzen U_E (Unbekanntes aus der Errichtersphäre) und U_B (Unbekanntes aus der Bestellersphäre) und decken im Ergebnis die vom Errichter einzuschätzenden Risiken ab (siehe Anhang 3).

Eingangsparameter sind:

- Basiskosten je Projektteil (B),
- Teil von (B), welcher vom Baugrundrisiko betroffenen ist (B^{Baugrund}),
- der Planungsstand (Projektkenntnis) und
- eine Einschätzung der Komplexität des Projekts.

Anmerkungen:

Neben der technischen Komplexität des Projektes hat auch die Zeitschiene der Projektrealisierung wesentlichen Einfluss auf die Risikovorsorge. So können beispielsweise technisch einfache Projekte, deren Planung und Verwirklichung sich auf einen langen Zeitraum erstrecken, unter die Kategorie mittel oder schwierig fallen.

Die beispielhaft angeführten Prozentsätze zur Risikovorsorge stammen aus langjähriger Erfahrung bei Planung und Abwicklung von Eisenbahnverkehrsinfrastrukturprojekten. Sie stellen somit einen Anhaltspunkt für die Festlegung von Kostenansätzen zur Abdeckung der relevanten Risiken dar. Im Einzelfall kann es jedoch zweckmäßig und erforderlich sein, aufgrund der gegebenen Randbedingungen abweichende Kostenansätze für Risiken vorzusehen.

Ergebnisse sind:

- Kostenansätze U_E je Projektteil (Unbekanntes aus der Errichtersphäre)
- Kostenansätze U_B je Projektteil (Unbekanntes aus der Bestellersphäre)
-

7.3.1 Kostenansatz U_E

Zur Ermittlung des Kostenansatzes U_E je Projektteil wird ein Prozentsatz u_E mit den Basiskosten B des Projektteils multipliziert:

$$U_E = u_E \times B$$

Der Prozentsatz u_E wird in Abhängigkeit vom jeweiligen Planungsstand unter Einschätzung der Komplexität des Projektteils anhand der Tabelle 1 bestimmt, wobei eine Interpolation von Zwischenwerten möglich ist. Die Werte stellen Richtwerte dar und sind projektspezifisch zu verifizieren.

		Komplexität des Projektes		
Prozentsatz u_E	Planungsstand	einfach	mittel	schwierig
2. Kostenschätzung	Umweltverträglichkeitserklärung	4%	8%	12%
3. Kostenschätzung	Einreichplanung	3%	6%	9%
Kostenberechnung	Abschluss der wesentlichen Genehmigungsverfahren	2%	4%	6%

Tab. 1: Prozentsätze u_E zur Risikovorsorge für Risiken aus der Errichtersphäre in der Planungsphase

7.3.2 Kostenansatz U_B

Der Kostenansatz U_B je Projektteil wird aus der Summe eines Kostenansatzes für allgemeine Projektrisiken ($U_B^{\text{Allgemein}}$) und eines Kostenansatzes für Baugrundrisiken (U_B^{Baugrund}) gebildet:

$$U_B = U_B^{\text{Allgemein}} + U_B^{\text{Baugrund}}$$

Während der Kostenansatz für allgemeine Projektrisiken von den gesamten Basiskosten des Projektteils (B) abhängt, errechnet sich der Kostenansatz für die Baugrundrisiken nur aus jenem Teil der Basiskosten, der vom Baugrundrisiko unmittelbar betroffen ist (B^{Baugrund}). Daraus ergibt sich folgende Formel zur Berechnung von U_B :

$$U_B = u_B^{\text{Allgemein}} \times B + u_B^{\text{Baugrund}} \times B^{\text{Baugrund}}$$

Die Prozentsätze $u_B^{\text{Allgemein}}$ und u_B^{Baugrund} werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Planungsstand unter Einschätzung der Komplexität des Projektteils anhand der Tabellen 2 und 3 bestimmt, wobei eine Interpolation von Zwischenwerten möglich ist:

		Komplexität des Projektes		
Prozentsatz $u_B^{\text{Allgemein}}$	Planungsstand	einfach	mittel	schwierig
2. Kostenschätzung	Umweltverträglichkeitserklärung	7,5%	10%	12,5%
3. Kostenschätzung	Einreichplanung	5%	7,5%	10%
Kostenberechnung	Abschluss der wesentlichen Genehmigungsverfahren	2,5%	5%	7,5%

Tab. 2: Prozentsätze $u_B^{\text{Allgemein}}$ zur Risikovorsorge für **allgemeine Projektrisiken** aus der Bestellersphäre in der Planungsphase

		Baugrundverhältnisse		
Prozentsatz u_B^{Baugrund}	Planungsstand	einfach	mittel	schwierig
2. Kostenschätzung	Umweltverträglichkeitserklärung	10%	15%	20%
3. Kostenschätzung	Einreichplanung	7,5%	11,25%	15%
Kostenberechnung	Abschluss der wesentlichen Genehmigungsverfahren	5%	7,5%	10%

Tab. 3: Prozentsätze u_B^{Baugrund} zur Risikovorsorge für **Baugrundrisiken** aus der Bestellersphäre in der Planungsphase

7.4 Richtwerte – Ausführungsphase

Als Risikovorsorge für Projektteile in der Ausführungsphase dienen die Kostenansätze Z_E (Zusätzliche Kosten in der Errichtersphäre) und Z_B (Zusätzliche Kosten in der Bestellersphäre). Beide Kostenansätze nehmen auf einen bestehenden Vertrag zwischen Errichter und Unternehmer Bezug und dienen der Abdeckung von zusätzlichen Kosten aus Änderungen der Art der vereinbarten Leistung, Änderungen der Umstände der Leistungserbringung, aus Zusatzleistungen und Mengenerhöhungen sowie aus sonstigen erforderlichen Vertragsanpassungen.

Der Richtwert für die Summe aus Z_E und Z_B liegt bei einfachen Baugrundverhältnissen in der Größenordnung von 5% bis 10% der Auftragssumme. Auch dieser Prozentsatz ist ein Erfahrungswert aus der Abwicklung von Verkehrsinfrastrukturprojekten. Da jedoch die Höhe der notwendigen Risikovorsorge Z ganz wesentlich von den Rahmenbedingungen (Komplexität und Erkundbarkeit des Baugrundes, Bauverfahren, Qualität des Vertrages u.v.m.) des Einzelfalls abhängt, sind mitunter auch wesentlich höhere Kostenansätze Z erforderlich. Im Zuge der Bauausführung verringert sich dieser auf die noch nicht erbrachten Vertragsleistungen bezogene Prozentsatz in Abhängigkeit der noch verbleibenden Risiken.

7.5 Quantitative Risikobewertung

Bei komplexen Projekten wird empfohlen, ergänzend zur pauschalen Ermittlung der Risikovorsorge R (Kap. 7.3 und 7.4) eine quantitative Ermittlung der Risikovorsorge auf Basis definierter Risikoszenarien durchzuführen.

7.5.1 Risiken bei Verkehrsinfrastrukturprojekten

Risiken bei Verkehrsinfrastrukturprojekten sind den folgenden Gruppen zuordenbar:

- politische Risiken
- Verfahrensrisiken
- wirtschaftliche Risiken
- technische Risiken (inkl. Baugrundrisiken)

Die Beurteilung der verschiedenen Risikogruppen erfolgt je nach Zuständigkeit (Anhang 1 – **Kostenvorsorge für Projektrisiken** und Anhang 2 – **Risikocheckliste**).

Verkehrsinfrastrukturprojekte beinhalten typische Risiken, die immer wieder zu erwarten sind. Eine beispielhafte Auflistung ist dem Anhang 2 – **Risikocheckliste** zu entnehmen. Für jedes Projekt ist gesondert zu überprüfen, ob diese Risiken im betrachteten Fall zutreffen. Darüber hinaus können projektspezifisch weitere Risiken auftreten, welche im Zuge der Projektaufbereitung zu erfassen und zu bewerten sind.

Die Einzelrisiken sind unabhängig von der Zuordnung zur Risikogruppe kostenmäßig zu bewerten. Der sachgerechten Überlagerung von Einzelrisiken kommt wesentliche Bedeutung zu.

7.5.2 Identifikation von Risiken – Risikoszenarien

Die Projektbeteiligten haben möglichst all jene Risiken zu identifizieren, die Auswirkungen auf die Projektkosten haben können (Anhang 3 – **Identifikation von Risiken – Risikoszenarien zyklischer Vortrieb** und Anhang 4 – **Risikoabschätzung mittels qualitativer Ereignisanalyse**). Dabei ist zu beachten, dass Risiken nicht nur negative Auswirkungen haben können, sondern sich durchaus auch positiv auf Kosten und Zeit auswirken können („Chancen“). Auch derartige Risiken sind in die Betrachtung mit aufzunehmen.

Für jene Risiken, die in weiterer Folge im Rahmen der Risikobetrachtungen genauer bewertet werden müssen, ist es zweckmäßig Risikoszenarien zu entwerfen. Diese beschreiben auf Basis der Ereignisse und potentiellen Risikoursachen die Folgen eines Risikoeintritts.

Damit das Risiko durch Kosten und Zeitansätze eindeutig erfasst werden kann, ist es wesentlich, eine klare Abgrenzung zwischen dem in den Basiskosten erfassten Regelfall und dem Sonderfall, der sich durch den Risikoeintritt ergibt, zu definieren. Folgende Punkte sind in einer Beschreibung der Risikoszenarien zu behandeln:

- Ereignis: - Erläuterung des betrachteten Ereignisses
- Maßgebende Parameter: - Aufzählung aller Parameter, die für das Eintreten des Ereignisses verantwortlich sein können
- Regelmaßnahmen: - Angabe der Maßnahmen, die im Regelfall gesetzt werden und die kalkulatorisch bereits in den Basiskosten erfasst sind, um das Werk projektgemäß zu erstellen
- Regelüberwachung: - Angabe der Maßnahmen zur Sicherstellung der rechtzeitigen und ausreichenden Anwendung der Regelmaßnahmen
- Sondermaßnahmen: - Angabe der Maßnahmen, die gesetzt werden, um das risikorelevante Ereignis zu beherrschen

7.5.3 Einschätzung der Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten

Bei der Risikoevaluierung sind die bei der Risikoidentifikation ermittelten Risiken zu quantifizieren.

Die Quantifizierung muss auf einer einheitlichen, kardinalen Bewertungsgrundlage basieren. Um Kostenansätze ermitteln zu können, müssen die Risiken daher monetarisiert, d.h. in Geldeinheiten ausgedrückt werden.

Das bewertete Risiko (R_i) eines Ereignisses (i) ist das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit (W_i) mal Auswirkung (A_i) auf Kosten bzw. Zeit.

$$R_i = W_i \times A_i$$

Risiken bzw. Eintrittswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen auf Kosten und Termine numerisch zu erfassen kann vielfach sehr schwierig sein. Einerseits müssen dafür zugrunde liegende Prozesse genau bekannt sein, und andererseits ist die absolute Höhe und Verteilungsfunktion der Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der Auswirkungen auf Kosten und Termine schwer bestimmbar. Daher sind Eintrittswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen immer nur Abschätzungen und damit abhängig von der getroffenen Einschätzung. Insbesondere bei der Beurteilung der Ergebnisse darf diese Unschärfe nicht übersehen werden.

Auch wenn sämtliche Risiken Auswirkungen auf die Kosten haben, so können trotzdem nicht alle Risiken quantitativ erfasst und in der Kostenermittlung berücksichtigt werden. Der damit verbundene Aufwand wäre nicht gerechtfertigt. Vor der quantitativen Bewertung der identifizierten Risiken muss daher überlegt werden, welche Risiken vernachlässigt werden können und welche Risiken nur einer qualitativen Ereignisanalyse zugänglich sind. Bei Risiken, welche einer quantitativen Risikoanalyse zugeführt werden, sind auch deren gegenseitige Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

Für komplexe umfangreiche Projekte sollte möglichst auch eine Risikolandschaft mit Risikotoleranzgrenzen erarbeitet werden (Abbildung 6). Diese Festlegung basiert in der Regel auf den Beurteilungsmaßstäben der qualitativen Analyse (Anhang 4 – **Risikoabschätzung mittels qualitativer Ereignisanalyse**). Zusätzlich sind Schwellenwerte zu definieren, ab denen ein Risiko in die Kostenplanung eingeht, d.h. in einer quantitativen Analyse näher betrachtet wird.

Auch bei einer fundierten, auf quantitativen Grundlagen basierenden Risikoanalyse wird es im Hinblick auf die gebotene kaufmännische Sorgfaltspflicht unumgänglich sein, die nicht quantifizierbaren, nur qualitativ beschreibbaren Risiken durch einen angemessenen Risikozuschlag zu berücksichtigen (Anhang 1 – **Kostenvorsorge für Projektrisiken**).

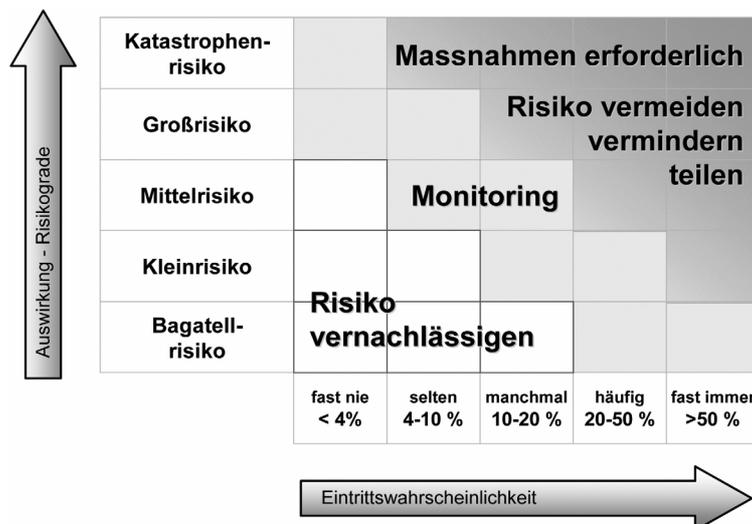


Abb. 6: Darstellung der Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit in der Risikolandschaft inkl. Risikotoleranzgrenzen

7.5.4 Zuordnung der Risiken zu einzelnen Kostengruppen

Als Basis für die Zuordnung der Risiken wird die Kostengliederung der Kostenermittlung herangezogen. Mit Hilfe der Kosten-Risiko-Matrix (Abbildung 7) können die als wesentlich erkannten Risiken (Bsp.: Anhang 3 – **Identifikation von Risiken – Risikoszenarien zyklischer Vortrieb**) den einzelnen Kostengruppen bzw., dort wo es sinnvoll ist, auch den einzelnen Kostenuntergruppen zugeordnet werden. Wenn sich Risiken einer Risikogruppe nicht eindeutig einer Kostengruppe zuordnen lassen, sind diese auf mehrere Kostengruppen aufzuteilen.

Kostengruppen		IDENTIFIZIERTE RISIKEN						
Kostenhauptgruppe	Kostenuntergruppe	Risiko 1	Risiko 2	Risiko 3	Risiko 4	Risiko 5	Risiko 6	Risiko n
Grundstückskosten	Grundstückserwerb	Risiko-szenario 1.1						
	Nutzung zeitl. begrenzt (Pacht,...)	Risiko-szenario 1.2						
	Servitute							
	Wertminderung							
...	...							
Dienstleistungen	Projektleitung		Risiko-szenario 2.1	Risiko-szenario 3.1				
	Projektsteuerung / Baumanagement				Risiko-szenario 4.1			
	ÖBA			Risiko-szenario 3.2				
	Fachplaner		Risiko-szenario 2.2		Risiko-szenario 4.2		Risiko-szenario 6.1.	
	...							
Bauleistungen	Bauausführung			Risiko-szenario 3.3		Risiko-szenario 5.1		
	Oberbau /Fahrweg					Risiko-szenario 5.2	Risiko-szenario 6.2	
	Streckenausrüstung				Risiko-szenario 4.3		Risiko-szenario 6.3	
	Erkundungsarbeiten					Risiko-szenario 5.3	Risiko-szenario 6.4	
	...							

Abb. 7: Kosten-Risiko-Matrix

7.5.5 Kombination von Risiken

Alle Risiken einer Kostengruppe sind mit Hilfe einer entsprechenden mathematischen Simulation zu überlagern und eine Bandbreite für diese Kostengruppe auszuweisen. Die Gesamtkostenbandbreite der Projektkosten ergibt sich aus der Überlagerung aller Kostengruppen.

Die Kombination von Risiken dient der Überlagerung und Darstellung der möglichen Risikoauswirkungen unterschiedlicher, meist voneinander abhängiger Ursachen. Es soll damit eine Übersicht über die verschiedenen Risiken geschaffen werden und eine Quantifizierung von Maßnahmen ermöglicht werden. Die Kombination von Risiken unterstützt die Projektplanung bei ihrer Entscheidungsfindung.

7.5.5.1 Deterministischer Ansatz

Bei einem deterministischen Ansatz und bei dem Verfahren mit Bandbreiten wird die Überlagerung der einzelnen Risikogruppen nach ingenieurmäßigen Überlegungen durchgeführt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Abhängigkeiten der Risikogruppen werden durch Experten eingeschätzt. Damit ergeben sich durch Summation untere und obere Grenzwerte der rechnerischen Risikovorsorge. Nachteil dieser gebräuchlichen und für durchschnittliche Bauvorhaben angemess-

sene Methode ist, dass nicht definiert werden kann, mit welcher Eintrittswahrscheinlichkeit der untere und der obere Grenzwert der rechnerischen Risikovorsorge behaftet ist.

7.5.5.2 Probabilistischer Ansatz

Bei der Risikoevaluierung mittels probabilistischer Ansätze, welche in der Regel nur bei großen und komplexen Bauvorhaben gerechtfertigt ist, erfolgt die Verknüpfung der einzelnen Risikoszenarien nach mathematischen Grundsätzen (Anhang 5 – **Mathematische Formulierung für Risikoüberlagerung**). Aufbauend auf den in der Kosten-Risiko-Matrix definierten Risiken (Risiko 1 bis Risiko n) und der statistischen Verteilung der Kostenauswirkung, der Eintrittswahrscheinlichkeit und eventuell gegenseitiger Abhängigkeiten werden die Kosten der Risikovorsorge ermittelt (Abbildung 8).

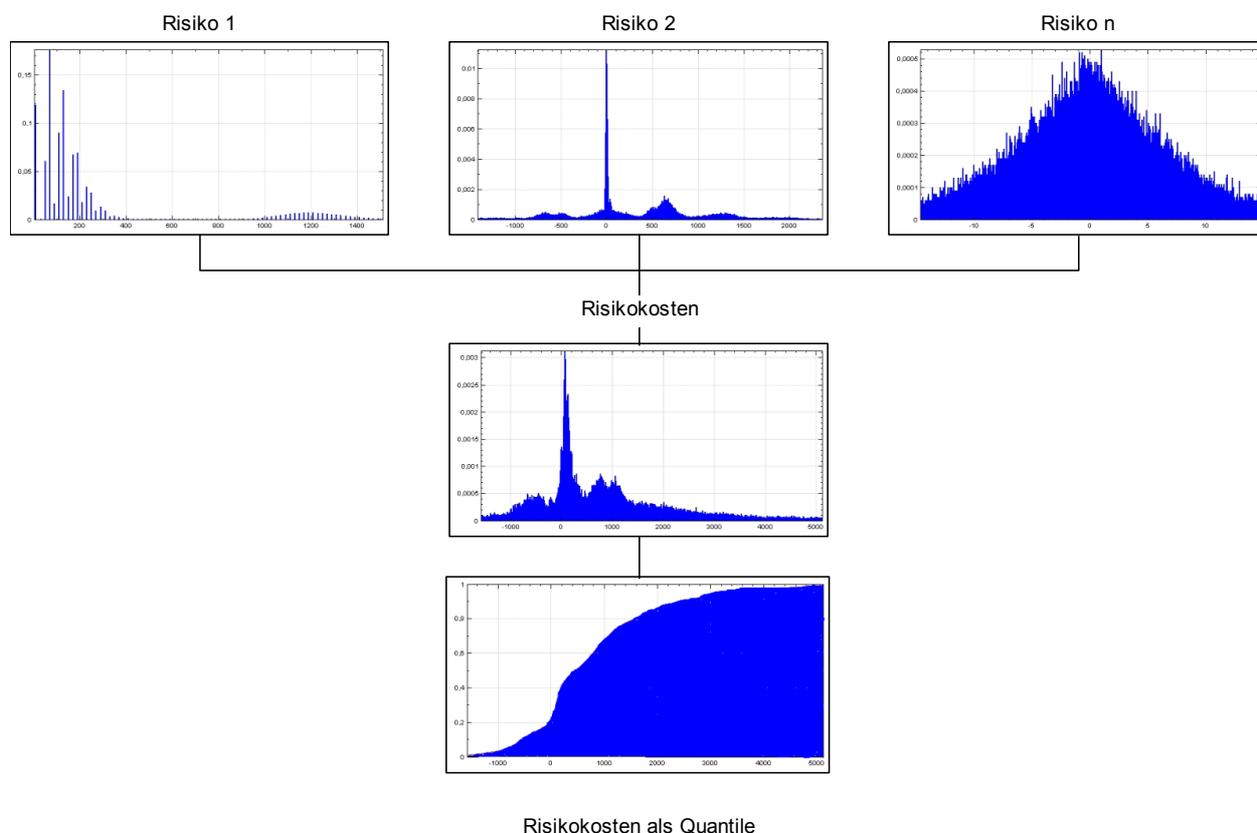


Abb. 8: Schematische Ermittlung der Kosten für die Risikovorsorge mittels probabilistischem Ansatz

Das Ergebnis ist eine statistisch verteilte Kostenkurve, aus der Werte für die rechnerische Risikovorsorge in Abhängigkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt werden können. Um die Aussagekraft und Übersichtlichkeit der Ergebnisse zu erhöhen, ist es zweckmäßig die Kurve in eine Quantilendarstellung zu transformieren (Anhang 6 – **Ermittlung von R mittels probabilistischer Ansätze**).

8 ERMITTLUNG DER GESAMTKOSTEN

Die Gesamtkosten werden aus der Summe der Basiskosten (B), des Kostenansatzes für Gleitung und Wertanpassung (G), des Kostenansatzes für Risiken (R) und des Kostenansatzes für Vorausvalorisierung (V) ermittelt. Die Art der Summation hat entsprechend den gewählten Ansätzen für die Ermittlung dieser einzelnen Kostenbestandteile zu erfolgen.

Dabei können folgende Methoden angewendet werden:

- Meth. 1: Werden sowohl die Basiskosten als auch der Kostenansatz für die relevanten Risiken deterministisch ermittelt, so ergeben sich auch die Gesamtkosten als ein deterministischer Wert, der gegebenenfalls mit prozentmäßigen Abweichungen, meist basierend auf Erfahrungen, behaftet ist. Den angegebenen Grenzen können keine Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Eine derartige Vorgangsweise wird bei einfachen und mittelgroßen Projekten ausreichend sein.
- Meth. 2: Die Kombination einer probabilistischen Ermittlung der Basiskosten und einer deterministischen Ermittlung der Kosten aus der Risikovorsorge ist nicht sinnvoll.
- Meth. 3: Die deterministische Ermittlung der Basiskosten und die probabilistische Ermittlung der Kosten aus der Risikovorsorge sollte bei großen und komplexen Projekten, bei welchen der Baugrund keine dominierende Rolle spielt angewendet werden. Aufgesetzt auf fixen Basiskosten wird der Kostenansatz aus dem Risiko probabilistisch ermittelt. Theoretisch ist es in diesem Falle möglich, Aussagen darüber zu treffen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Kosten für die Risikovorsorge über- oder unterschritten werden. Dies gilt allerdings nur dann, wenn sämtliche Risiken mit hinlänglicher Aussagekraft monetarisiert werden können.
- Meth. 4: Die Ermittlung der Basiskosten und der Kosten für die Risikovorsorge auf probabilistischer Basis wird insbesondere bei stark von Baugrundrisiken beeinflussten Projekten gerechtfertigt und erforderlich sein. Eine Vereinfachung der Methodik kann derart geschehen, dass für die ermittelten Basiskosten ein fixer Wert (5 %, 50 %, 95 % - Fraktile) angesetzt wird, der auf Basis der probabilistischen Berechnung ingenieurmäßig festgelegt wird. Damit entspricht der Wert der Basiskosten einem deterministischen Wert. Für die Ermittlung der Risikokosten gilt Methode 3.

Die Gesamtkosten sind in der Regel mit einer Streubreite behaftet. Für den maßgebenden Kostenanschlag eines Projektes ist jedoch der wahrscheinlichste Wert, falls vorhanden der Medianwert oder ein repräsentativer Fraktilwert, anzugeben.

9 MITGELTENDE RICHTLINIEN

ON-Regel 49000 ff	Risikomanagement für Organisationen und Systeme, 2004
ONR 49000	Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Grundlagen und Begriffe
ONR 49001	Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Elemente des Risikomanagement-Systems
ONR 49002-1	Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Teil 1: Leitfaden für das Risikomanagement
ONR 49002-2	Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Teil 2: Leitfaden für die Einbettung des Risikomanagements in das Managementsystem
ONR 49003	Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Anforderungen an die Qualifikation des Risikomanagers
ÖNORM B 1801-1	Kosten im Hoch- und Tiefbau Kostengliederung, 1995-05
ÖNORM B 2203-1	Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm, Teil 1: Zyklischer Vortrieb, 2001-12
ÖNORM B 2203-2	Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm, Teil 2: Kontinuierlicher Vortrieb 2005-01
ÖNORM EN 1050	Sicherheit von Maschinen, Leitsätze zur Risikobeurteilung, 01.01.1997

10 LITERATUR

- Arends G., Bielecki R., Castle J., Drabek S., Haack A., Nedbal F., Nordmark A., Sterling R.: Risk Budget management in progressing underground works. ISTT and ITA Joint Working Group Report. Tunnelling and Underground Space Technology 19 (2004) 29-33
- Bay M., Gerhard M.: Risikomanagement bei Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen der Deutschen Bahn AG. Erfahrungsbericht aus der Praxis. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt. Heft 64, 2004
- Blennemann F., Friebel W.-D., Grossmann H.: Baukosten von Straßentunneln. Tunnel 7/2000
- DAUB-Empfehlungen: "Empfehlungen zur Risikoverteilung in Tunnelbauverträgen". Deutscher Ausschuß für unterirdisches Bauen e.V.(DAUB) Tunnel 3/98 - Seite 50 - 56; (1998)
- Eisenbahn Hochleistungsstrecken AG: "Koralmbahn Graz-Klagenfurt, Koralmtunnel: Quantitative Risikoanalyse im Rahmen der 2. Kostenschätzung". Planverfasser: D2-Consult ZT GmbH Linz- GEOCONSULT ZT GmbH Salzburg; April 2004
- Eisenbahn Hochleistungsstrecken AG: "Vergleichende Risikoanalyse der Baumethoden konventioneller/maschinellem Vortrieb - Neubaustrecke Wien-St.Pölten - Tunnelkette Perschlingtal". Planverfasser: Vorarlberger Illwerke AG - Schruns, Amberg Engineering - Sargans, ILF-Beratende Ingenieure - Innsbruck, IL-Ingenieurbüro Laabmayr&Partner - Salzburg; Juni 2000
- Friedli R., Müller A.: "Risikoanalysen von Naturgefahren". Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 42, 15. Oktober 1998, Seite 8 - 12, (1998)
- Kolic D., Wagner H.: „Dynamische Risikosteuerung für Tunnel in Planung und Durchführung“. Felsbau 20 (2002)
- Link D.: Risikobewertung von Bauprozessen – Modell ROAD. Dissertation, Wien, 1999
- Mathoi Th.: Durchgängiges Baukostenmanagement – Ein Leitfaden für systematische Kostenplanung und -kontrolle bei Bauprojekten im Hochbau aus Sicht des Planers bzw. Auftraggebers. Schriftenreihe Bauwirtschaft und Projektmanagement, Herausgeber: Institut für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, I3B, Universität Innsbruck, Heft Nr. 08, 2005
- Pöttler R., Klapperich H., Schweiger H.F. (eds): Proceedings of the International Conference on „Probabilistics in Geotechnics Technical and Economic Risk Estimation. Graz 2002, VGE 2002
- PSP – Petschacher Software and Development, Ltd., 2004. User Manual – Variables Processor VaP 2.1 Technical Report 1
- Stempkowski R.: "Risiko- & Kostenprognose-Modell – Anwendung des Risikomanagements in der Kostenplanung, Festschrift Prof. Nesitka, FH JOANNEUM, 2004
- Stempkowski R., Link D.: Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. Vortrag und Publikation - 2. Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium Graz, 2004
- Stempkowski R., Link D., Sadleder Ch.: Projektrisikomanagement in der Bauwirtschaft - Teil 1 bis Teil 4. Artikelserie in der Österreichische Bauzeitung, Nr.9 bis 12, 2003

Vavrovsky G., Hager H.: Handbuch zum Kostencontrolling der HL-AG, 2004

Vavrovsky G.: Kostencontrolling im Verkehrwegebau. Festschrift Oberndorfer, IBB, TU-Wien, 2001

Vavrovsky G.: Kostenermittlung im Rahmen des Projektcontrollings, Vortrag, 2004

Vigl A., Benedikt J., Eder M., Ruegg Ch., Lemmerer J.: Vergleichende Risikoanalyse für konventionellen Vortrieb und TBM Vortrieb. Felsbau 20 (2002)

Weiss E.H., Vigl A.: "Mediation"- a proper tool for risk assessment in tunnelling projects". Proceedings of the AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress, (2001)

11 ANHANG

Anhang 1: Kostenvorsorge für Projektrisiken

Anhang 2: Risikocheckliste

**Anhang 3: Identifikation von Risiken – Risikoszenarien zyklischer Vor-
trieb**

Anhang 4: Risikoabschätzung mittels qualitativer Ereignisanalyse

Anhang 5: Mathematische Formulierung für Risikoüberlagerung

Anhang 6: Ermittlung von R mittels probabilistischer Ansätze

ANHANG 1: Kostenvorsorge für Projektrisiken Am Beispiel der ÖBB Infrastruktur BAU AG

Struktur der Kostenvorsorge für Projektrisiken	
Kostenansatz	<p>Ausführungsphase (Zusätzliche Kosten) Z</p> <p>Planungsphase (Unbekanntes) U</p>
Projektphase	
Risikosphäre	<p>1. Index</p> <p>Besteller</p> <p>Errichter</p> <p>2. Index</p> <p>Projektleiter + Geschäftsbereichsleiter (je Projekt)</p>
Verantwortungsebene:	<p>1. Index</p> <p>U_E, Z_E</p> <p>U_B, Z_B</p> <p>2. Index</p> <p>U_{E1}, U_{B1}</p> <p>U_{E2}, U_{B2}</p>

Die Kostenansätze für Risiken werden bei der ÖBB Infrastruktur Bau AG entsprechend ihrer Einschätzbarkeit, Beeinflussbarkeit und Verantwortlichkeit auf 3 Teilebenen ermittelt:

Auf der ersten Ebene erfolgt die Einschätzung der erforderlichen rechnerischen Risikovorsorgen auf Basis von Richtwerten, gegebenenfalls unter Einbeziehung von Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie durch die Verantwortlichen für die einzelnen **Projektteile**. Die Kostenansätze sollten in der Kostenstruktur beim jeweiligen Projektteil ausgewiesen und von den Fachreferenten des auf Errichterseite eingerichteten Projektteams gemeinsam mit den jeweiligen Planern erarbeitet werden.

Auf der zweiten Ebene erfolgt die Berücksichtigung der je Projektteil auf erster Ebene nicht einschätzbaren Risiken durch die Verantwortlichen für das **Gesamtprojekt**. Die Kostenansätze der zweiten Ebene sollten in der Kostenstruktur im jeweiligen Projekt, jedoch außerhalb der einzelnen Projektteile ausgewiesen werden. Die Einschätzung erfolgt in Abstimmung zwischen dem Projektleiter und dem Gesamtverantwortlichen auf Seite des Errichters.

Auf der dritten Ebene erfolgt die Vorsorge für verbleibende, vom Errichter nicht abgedeckte Risiken in der Bestellersphäre. Die Kostenansätze auf dritter Ebene sollten zweckmäßigerweise Bezug auf das gesamte **Projektportfolio** des Bestellers nehmen und außerhalb der einzelnen Projekte ausgewiesen werden. Die Einschätzung erfolgt in Abstimmung der Verantwortlichen auf Besteller- und Errichterseite.

Risiko-sphäre	Art des Risikos	Kostenansatz in der		Kostenansatz eingeschätzt von	Inhalt des Kostenansatzes	Einschätzungs-ebene
		Planungs- phase	Ausführungs- phase			
Errichter	Planungsrisiko Grundeinkaufsrisiko Kalkulationsrisiko Vertragsrisiko	UE1	ZE1	Errichter (Fachreferent und Planer)	Kostenansatz für Risiken aus der Errichtersphäre, welcher vom Fachreferent bzw. Planer vorgenommen wird und auf fachlicher Grundlage, z.B. auf Basis einer quantitativen Risikoanalyse, quantifiziert werden kann.	Projektteil
		UE2	ZE2	Errichter (Projektleiter im Unternehmen mit der Geschäftsbereichsleitung)	Kostenansatz für Risiken aus der Errichtersphäre, welcher vom Projektleiter im Unternehmen mit der Geschäftsbereichsleitung vorgenommen wird und unter Bedachtnahme auf die gebotene kaufmännische Sorgfalt über den quantifizierbaren Anteil hinaus berücksichtigt werden muss.	
Besteller	Bestelländerungsrisiko Baugrundrisiko Genehmigungsrisiko Finanzierungsrisiko Marktrisiko (*) Höhere Gewalt	UB1	ZB1	Errichter (Fachreferent und Planer)	Kostenansatz für Risiken aus der Bestellersphäre, welcher vom Fachreferent bzw. Planer vorgenommen wird und auf fachlicher Grundlage, z.B. auf Basis einer quantitativen Risikoanalyse, quantifiziert werden kann.	Projektteil
		UB2	ZB2	Errichter (Projektleiter im Unternehmen mit der Geschäftsbereichsleitung)	Kostenansatz für Risiken aus der Bestellersphäre, welcher vom Projektleiter im Unternehmen mit der Geschäftsbereichsleitung vorgenommen wird und unter Bedachtnahme auf die gebotene kaufmännische Sorgfalt über den quantifizierbaren Anteil hinaus berücksichtigt werden muss.	
		UB3	ZB3	Besteller	Kostenansatz für Restrisiken aus der Bestellersphäre, welcher vom Besteller (Vorstand) vorgenommen wird. Dieser wird nur global für das gesamte Projektportfolio eingeschätzt.	

(*) Ein Ansatz für das Marktrisiko besteht auch in "V" (Vorausvalorisierung)

Legende:

U

Z

(tiefgestellt) E oder B

(tiefgestellt) 1, 2 oder 3

Kostenansatz für Risiken in der Planungsphase (Unbekanntes)

Kostenansatz für Risiken in der Ausführungsphase (Zusatzkosten)

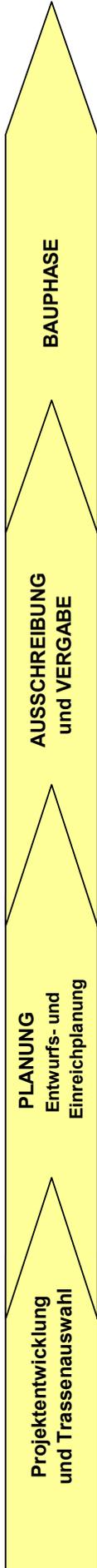
1. Index, zeigt die Risikosphäre (Errichter, Besteller) an

2. Index, zeigt die Verantwortungsebene der Risikoversorge (1=Projektteil, 2=Projekt, 3=Unternehmen) an

ANHANG 2: Risikocheckliste

Beispielhafte Aufzählung in Abhängigkeit der Projektphasen

Projektentwicklung und Trassenauswahl		PLANUNG Entwurfs- und Einreichplanung		AUSSCHREIBUNG und VERGABE		BAUPHASE	
POLITISCHE RISIKEN Zuständigkeiten Politik und Konzessionär, nicht Inhalt der Richtlinie, nur informativ							
Unklare Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben	Änderungen von Zielvorgaben
Änderungen von Zielvorgaben durch Änderung der Verantwortlichkeiten / Wahlen / parteipolit. Vorgaben / ...	öffentliche politische Diskussion						
Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen	Widerstände div. Anspruchsgruppen
div. Interventionen (Politik oder Investoren)	Verzögerungen durch polit. Interventionen in der Planung	Verzögerungen durch polit. Interventionen in der Vergabe	Verzögerungen durch polit. Interventionen während des Baus				
Verzögerungen durch fehlende polit. Entscheidungen	Planungsstopp auf Grund pol. Situation	Stop des Vergabeverfahrens	Baustop auf Grund pol. Situation	Stop des Vergabeverfahrens	Stop des Vergabeverfahrens	Baustop auf Grund pol. Situation	Baustop auf Grund pol. Situation
Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen	Rücknahme Finanzierungszusagen
VERFAHRENSRISIKEN Zuständigkeiten Politik, Konzessionär und Errichter							
Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen	Zeirisiko aus Genehmigungsverfahren und Behördenengriffen
Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten	Genehmigungsfähigkeit von Projektvarianten
Verzögerungen bei der Trassenauswahl durch fehlende Entscheidungen	Verzögerungen im UVP-Verfahren						
Verzögerungen bei der Grundeinlässe (Mehrkosten)	Verzögerungen in den Materialechtsverfahren						
Änderungen bei der Verfahrensbewertung / Ansprechpersonen	Verzögerungen bei der Grundeinlässe (Mehrkosten)						
Behörden / Zuständigkeiten	Änderungen bei der Verfahrensbewertung / Ansprechpersonen						
Vergaberisiken	Behörden / Zuständigkeiten						
Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	Vergaberisiken						
Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)	(Art des Vergabeverfahrens, Einsprüchen, Fristen, Formale Fehler, Bewertung der Bieter, ...)



WIRTSCHAFTLICHE RISIKEN			
Zuständigkeiten Politik und Konzessionär, nicht Inhalt der Richtlinie, nur informativ			
Finanzierbarkeit des Projektes (verlorene Kosten, wenn Projekt nicht realisiert wird, keine projektspez. Kosten)	Finanzierbarkeit des Projektes (wie vor)	Finanzierbarkeit des Projektes (wie vor für die Planungsphase, gilt nicht mehr ab Vergabephase)	
generelle Wirtschaftsentwicklung (Valorisierung/Inflation)	generelle Wirtschaftsentwicklung (Valorisierung/Inflation)	generelle Wirtschaftsentwicklung (Valorisierung/Inflation, Marktpreisschwankungen)	generelle Wirtschaftsentwicklung (Valorisierung/Inflation)

WIRTSCHAFTLICHE RISIKEN			
Zuständigkeit Betreiber und Errichter			
Rücktritt eines Vertragspartners	Rücktritt Vertragspartner / Konkurs Planer	Rücktritt Vertragspartner / Konkurs Auftragnehmer	Rücktritt Vertragspartner / Konkurs Bauunternehmer
	Probleme in der Planung (Ablauf, Schnittstellen, Qualität)	Kostenerhöhung durch div. Auflagen, Änderungswünsche AG	Kostenerhöhung durch div. Auflagen, Änderungswünsche AG (nachträgliche Zusatzleistungen, Änderungen der Art bzw. der Umstände der Leistungserbringung)
	Varianten - wirtschaftliche Optimierung der Planung (Chance)	Alternativen der Bieter (ab Vergabephase) - (Chance)	

TECHNISCHE RISIKEN			
Zuständigkeit Betreiber und Errichter			
Allgemeine Risiken			
technische Realisierbarkeit nicht gegeben	technische Realisierbarkeit nicht gegeben		
Probleme in der Planung (Qualität, Ablauf, Schnittstellen, Planungstiefe ...)	Probleme in der Planung (Qualität, Ablauf, Schnittstellen, Planungstiefe ...)	Probleme in der Planung (Qualität, Ablauf, Schnittstellen, Planungstiefe ...)	Probleme in der Planung (Qualität, Ablauf, Schnittstellen, Termine ...)
			Probleme in der Bauteilen-organisation / im Bauablauf
			Unfälle in der Bauphase
			Höhere Gewalt (Überflutung, Terror, Streik, Erdbeben, ...)

Projektentwicklung und Trassenauswahl	PLANUNG Entwurfs- und Einreichplanung	AUSSCHREIBUNG und VERGABE	BAUPHASE
Baugrund und Geologie			
Baugrundrisiko / Bodenverhältnisse (geologisches Risiko)	Baugrundrisiko / Bodenverhältnisse (geologisches Risiko)	Baugrundrisiko / Bodenverhältnisse (geologisches Risiko)	Baugrundrisiko / Bodenverhältnisse (geologisches Risiko)
			Anderer Baugrund als in Ausschreibung beschrieben
Datengrundlagen Projekt	Datengrundlagen Projekt	Datengrundlagen Projekt	Datengrundlagen Projekt
	Interaktion Baugrund - Bauwerk	Interaktion Baugrund - Bauwerk	Interaktion Baugrund - Bauwerk
			Baugrundversagen (Grundbruch, Verbruch, ...)
			Probleme mit Grund- und Bergwasser
			Vortriebsklassenverschiebungen
Methode			
	erforderliche Änderung des Bauverfahrens auf Grund von Auflagen oder geänderten Baugrundverhältnissen	erforderliche Änderung des Bauverfahrens auf Grund von Auflagen oder geänderten Baugrundverhältnissen	erforderliche Änderung des Bauverfahrens auf Grund von Auflagen oder geänderten Baugrundverhältnissen
	Wahl einer ungeeigneten Baumethode	Wahl einer ungeeigneten Baumethode	Wahl einer ungeeigneten Baumethode
	Konstruktion / Statik	Konstruktion / Statik	Konstruktion / Statik
Technologieentwicklungen (Chance)	Technologieentwicklungen (Chance)	Technologieentwicklungen (Chance)	Technologieentwicklungen (Chance)
Änderung (Weiterentwicklung) von Normen, Richtlinien, Sicherheitsstandards etc.	Änderung (Weiterentwicklung) von Normen, Richtlinien, Sicherheitsstandards etc.	Änderung (Weiterentwicklung) von Normen, Richtlinien, Sicherheitsstandards etc.	Änderung (Weiterentwicklung) von Normen, Richtlinien, Sicherheitsstandards etc.
Umfeld und Umwelt			
Änderung (Weiterentwicklungen) der Umweltstandards	Änderung (Weiterentwicklungen) der Umweltstandards	Änderung (Weiterentwicklungen) der Umweltstandards	Änderung (Weiterentwicklungen) der Umweltstandards
zus. geforderte Umweltauflagen (Zusatz- und Ausgleichsmaßnahmen) - Behörden, Bürger etc.	zus. geforderte Umweltauflagen (Zusatz- und Ausgleichsmaßnahmen) - Behörden, Bürger etc.	zus. geforderte Umweltauflagen (Zusatz- und Ausgleichsmaßnahmen) - Behörden, Bürger etc.	zus. geforderte Umweltauflagen (Zusatz- und Ausgleichsmaßnahmen) - Behörden, Bürger etc.
zu geringer Umfang der Umweltuntersuchungen mit Auswirkungen auf die Umwelt- planung	zu geringer Umfang der Umweltuntersuchungen mit Auswirkungen auf die Umwelt- planung	zu geringer Umfang der Umweltuntersuchungen mit Auswirkungen auf die Umwelt- planung	zu geringer Umfang der Umweltuntersuchungen mit Auswirkungen auf die Umwelt- planung
			Unfälle mit Auswirkungen auf die Umwelt in Bauphase
			zusätzliche Maßnahmen auf Grund erhöhter Emissionen durch Baubetrieb (Lärm, Staub, Erschütterungen,...), die nicht vom AN zu vertreten sind

ANHANG 3: Identifikation von Risiken – Risikoszenarien zyklischer Vortrieb

Beispiel (2-gleisiger Eisenbahntunnel, Ausbruchsquerschnitt 115 m²):

Identifiziertes Risiko	Risikopotential	Risikoszenarien
<i>Stabilität des Baugrundes:</i>	➤ Lokal begrenztes Versagen – wie Nachbrüche aus dem Firstbereich oder kleinräumiges Brustversagen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nachbruch bis 5 m³ ➤ Nachbruch bis 20 m³ ➤ Lokales Brustversagen bis 20 m³ ➤ Lokal starke Verformung (>50 mm Kalotte, L = 20 m)
	➤ Weitreichendes Versagen – wie Verbrüche (Größenordnung 500m ³) bis hin zum Tagbruch oder weitreichendes Versagen oder Vorseilen der Ortsbrust	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verbruch 500 m³ ➤ Weitreichendes Brustversagen größer 20 m³ ➤ Tagbruch
	➤ Geogene und antropogene Erscheinungen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausbläser ➤ Suspensionsaustritt
<i>Vortrieb und Sicherung:</i>	➤ Vortriebsbeeinträchtigung – wie Veränderung der kalkulierten Abschnittslängen der Vortriebsklassen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verschiebung Vortriebsklassen ➤ Verkleben der Abbauwerkzeuge ➤ Maschinenschaden/Geräteausfall
	➤ Sicherungserfordernisse – wie Veränderung der kalkulierten Abschnittslängen der Sicherungsklassen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Beanspruchung durch starken Schwellendruck ➤ Beanspruchung durch schwachen Schwellendruck ➤ Wasserdruck auf Außengewölbe ➤ Wasserdruck auf Innengewölbe ➤ Nachdrängende Lasten
	➤ Vortriebs- und Sicherungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Versagen der Lösemethode ➤ Versagen der Ausbaumethode
<i>Erschwernisse:</i>	➤ Beeinträchtigungen durch Wasser oder Gas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Wasserzutritte >10 l/s ➤ Wasserzutritte 3 – 10 l/s ➤ Gas-Beeinträchtigung ➤ Einstellen des Vortriebs
	➤ Hindernisse – wie unvermutet häufiges Auftreten von Boulders und/oder antropogenen Einschlüssen (Stahl, Baumstämme, Brunnen etc.)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boulders bis 1,5 m Φ ➤ Boulders größer 1,5 m Φ ➤ Anthropogene Fremdkörper (Stahlrohr-Brunnen) ➤ Holz (Baumstamm 20 m lang / quer gelagert)
<i>Sonderbaumaßnahmen:</i>	➤ Obertagemaßnahmen außer Programm – wie lokale Grundwasserabsenkung, HDBV (vertical jetting) etc.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lokale GW-Absenkung (L = 100 m) ➤ Lokale Vereisung ➤ HDBV (50 m)
	➤ Untertagebaumaßnahmen außer Programm – wie Rohrschirme, HDBV (horizontal jetting), Entlastungsbohrungen etc.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rohrschirm (L = 30 m) ➤ HDBV (L = 30 m) ➤ Entlastungsbohrung ➤ Injektionen
<i>Umfeldauswirkungen:</i>	➤ Unerwartete Auswirkungen auf das Umfeld – wie Ölunfall, Auswirkung der Baumethode auf die Umwelt, Lärm, Erschütterungen, Staub etc.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ GW-Beeinträchtigung (Ölunfall) ➤ Kollision LKW mit Brand
	➤ Unerwartete Rückwirkung aus dem Umfeld – zufolge Lärm, Erschütterungen, Staub etc.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lärm beim Vortrieb ➤ Erschütterung (Behinderung auf 200 m Länge) ➤ Luft im Tunnel ➤ Wasser ➤ Setzungen

Beispielhafte Beschreibung Risikoszenarien Umfeldauswirkungen

Lärm beim Vortrieb

Eine Lärmeinwirkung auf die Umgebung infolge des Vortriebs ist auf die Eingangsbereiche beschränkt. Spitzenschallpegel im Abstand von rd. 6 Stunden durch eventuelle Sprengungen können durch Schallschutzmaßnahmen am Portal reduziert werden. Lärmbelastungen durch Luttenlüfter und Kompressorstationen können durch natürliche Abschirmung im Einschnitt sowie schallschluckende Einhausungen minimiert werden.

Erschütterungen

Durch Sprengungen werden Erschütterungen induziert und Körperschall weitergeleitet. Die Belastungen wirken nur kurzzeitig und können durch sprengtechnische Maßnahmen reduziert werden oder auf zulässige Zeiten beschränkt werden (Nachtsprengverbot). Wenn das Lösen mit Bagger möglich ist und nur vereinzelt Lockerungssprengungen erforderlich sein werden, werden die Belastungen als gering eingestuft.

Luft im Tunnel

Beim Vortrieb entsteht eine Belastung der Luft durch Abgasemissionen der Abbaugeräte und der Geräte für den Massenabtransport. Weiters entstehen Emissionen durch die Staubbelastung (Bohren, Schüttern, Spritzbetonauftrag) und die Sprengschwaden. Mit Abgasbelastung im Tunnel für die Materialzulieferung ist zu rechnen.

Wasser

Bauzustand: Durch den Baubetrieb sind geringe Verunreinigungen des zutretenden Bergwassers und der Betriebswässer zu erwarten. Die Wässer aus dem Tunnel werden vor der Einleitung in den Vorfluter durch ausreichend dimensionierte Reinigungsanlagen gereinigt. Weiters werden durch den Einsatz von eluationsarmen Spritzbeton die Verunreinigungen minimiert.

Endzustand: Das durch Risse im Spritzbeton und Ankerlöcher zusickernde Bergwasser wird in Ulmdrainagen abgeführt. Das in der Sohle auftretende Bergwasser wird von der Sohldrainage gefasst und über eine Sammelleitung zum tieferliegenden Portal und dort über Versickerungsbecken dem Grundwasser zugeführt. Das Grundwasser wird im Tunnelbereich dauernd abgesenkt.

Setzungen

Setzungen infolge Bodenverlust, Auflockerung und Deformationen beim Tunnelvortrieb können durch tunnelbautechnische Maßnahmen wie

- reduzierte Abschlagslänge
- Unterteilung und/oder Stützung der Brust
- Verstärkung der Außenschale
- raschen Sohlschluss
- vorausseilende Sicherungsmaßnahmen

reduziert werden.

Weiters sind Kompensationsmaßnahmen (Unterfangung, Anheben) an den setzungsgefährdeten Objekten (Strommasten, Windkraftanlagen) direkt möglich.

ANHANG 4: Risikobewertung mittels qualitativer Methoden

Im Folgenden wird eine von vielen Möglichkeiten zur Durchführung von Risikobewertungen mittels qualitativer Methoden dargestellt:

Die Einschätzung der Auswirkungen von Ereignissen erfolgt getrennt mit einem Zeitindex (ZI) und einem Kostenindex (KI) in mehreren Kategorien (z.B. Mensch, Öffentlichkeit, Vortrieb, Geräte/Ausrüstung, Umwelt) mit einer Skala von 0 bis 5 (Tabelle 1).

Auswirkungsgrade	EI, KI und ZI
Keine Auswirkung	0
Unbedeutende Auswirkung	1
Geringe Auswirkung	2
Mittlere Auswirkung	3
Bedeutende Auswirkung	4
Desaströse Auswirkung	5

Tabelle 1: Einschätzung der Auswirkung von Ereignissen

Der jeweilige ungünstigere Wert des Kosten- und Zeitindex repräsentiert den Ereignisindex (EI). Die Summe aller EI ergibt den zur Beurteilung erforderlichen Gefahrenindex (GI).

Die Eintrittswahrscheinlichkeiten oder Auftretenshäufigkeiten bestimmter Ereignisse werden mit dem Wahrscheinlichkeitsindex (WI) dargestellt. Dieser wird anhand von Vergleichsdaten, Erfahrungswerten oder mittels einer Expertenrunde („Delphirunde“) festgelegt (Tabelle 2).

Kontinuierlicher Vortrieb	Zyklischer Vortrieb	Definition	WI
Weniger als einmal in 10,000 Metern	Weniger als einmal pro 1,000 ähnlichen Arbeiten	Sehr unwahrscheinlich	1
Einmal alle 1,000 bis 10,000 Meter	Einmal in 100 bis 1,000 ähnlichen Arbeiten	Unwahrscheinlich	2
Einmal alle 100 bis 1,000 Meter	Einmal in 10 bis 100 ähnlichen Arbeiten	Möglich	3
Einmal alle 10 bis 100 Meter	Einmal in 0 bis 10 ähnlichen Arbeiten	Wahrscheinlich	4
Einmal alle 0 bis 10 Meter	10 mal oder öfter bei jeder ähnlichen Arbeit	Sehr wahrscheinlich	5

Tabelle 2: Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen

Mit dem Wahrscheinlichkeitsindex (WI) und dem Gefahrenindex (GI) wird aus der Ereignisgradmatrix der Ereignisgrad (EG) entnommen. Er ist eine Aussage über die Auswirkung eines Ereignisses auf das Projekt und legt fest inwieweit Maßnahmen zur Reduktion oder/und Vermeidung zu untersuchen sind.

Der Ereignisgrad wird in einer Matrix dargestellt und stellt den Zusammenhang von Gefahren- und Wahrscheinlichkeitsindex dar. Die Grenzen zwischen den verschiedenen Ereignisgraden, die projektspezifisch festzulegen sind, drücken die Ereignisbereitschaft aus.

Beispielsweise können die folgenden Ereignisgrade mit zugehörigen Maßnahmenerfordernissen festgelegt werden (Tabelle 3):

Ereignis-grad	Beschreibung	Maßnahmenerfordernis
V	Vernachlässigbar	Keine Maßnahmen erforderlich
A	Akzeptabel	Überprüfen ob weitere Ereignisse durch die Überarbeitung der Planung oder Konstruktion auftreten können.
H	Hoch	Erwägung einer alternativen Baumethode. Wenn keine zur Verfügung steht, sollten spezielle Vorsichtsmassnahmen durch den Bauherrn getroffen werden.
E	Ernst	Ereignisse, die vielschichtige Maßnahmen erfordern um den Grad des Risikos reduzieren zu können. Wenn nicht möglich und wenn keine Ausschließungsgründe gegeben sind (K.O. Kriterien) sind für die Risiken besondere Vorsorgen zu treffen.

Tabelle 3: Ereignisgrad und erforderliche Maßnahmen

Eine mögliche Ereignisgradmatrix (Tabelle 4) sieht dann wie folgt aus:

Gefahrenindex vs. Wahrscheinlichkeitsindex	WI = 1	WI = 2	WI = 3	WI = 4	WI = 5
GI = 1	V	V	V	A	A
GI = 2	V	V	A	A	A
GI = 3	V	V	A	A	H
GI = 4	V	A	A	H	H
GI = 5	V	A	A	H	H
GI = 6	V	A	H	H	H
GI = 7	A	A	H	H	H
GI = 8	A	A	H	H	E
GI = 9	A	H	H	H	E
GI = 10	A	H	H	H	E
GI = 11	A	H	H	H	E
GI = 12	A	H	H	E	E
GI = 13	H	H	H	E	E
GI = 14	H	H	H	E	E
GI = 15	H	H	H	E	E
GI = 16	H	H	E	E	E
GI = 17	H	H	E	E	E
GI = 18	H	H	E	E	E
GI = 19	H	H	E	E	E
GI = 20	H	H	E	E	E
GI = 21	H	E	E	E	E
GI = 22	H	E	E	E	E
GI = 23	H	E	E	E	E
GI = 24	H	E	E	E	E
GI = 25	H	E	E	E	E

Tabelle 4: Ereignisgradmatrix

Die Ergebnisse der Bewertung werden zweckmäßigerweise in einem Ereignisregister (Tabelle 5) dargestellt:

Ereignisse		Bewertung					<u>GI</u>	<u>WI</u>	<u>EG</u>
No.	Beschreibung		M	Ö	V	G	U		
0.00	Beispiel Ereignis	ZI	1	1	3	2	5		
		KI	1	2	5	3	4		
		EI	1	2	5	3	5	16	3

Tabelle 5: Ereignisregister

Die Risikobewertung mit qualitativen Methoden kann festlegen, für welche Ereignisse und unter welchen Kriterien auch eine Risikobewertung in quantitativer Hinsicht erfolgen soll. Die hierzu erforderlichen Schwellwerte sind projektspezifisch festzulegen (z.B. $WI \geq 4$ und/oder $EG \geq H$).

ANHANG 5: Mathematische Formulierung für Risikoüberlagerung

Risiken sind in der Regel voneinander abhängig. In der Berücksichtigung der Abhängigkeit zwischen den Einzelrisiken liegt der Weg zur realitätsnäheren Modellierung. Das bedingt die Kenntnis ihrer gemeinsamen, mehrdimensionalen Verteilungsfunktion. Die verfügbaren Daten betreffend der Beziehungen zwischen Einzelrisiken sind beschränkt, wenn überhaupt verfügbar. Im speziellen Fall der mehrdimensionalen Normalverteilung beschreiben der Vektor der Mittelwerte und die Kovarianzmatrix diese gemeinsame Verteilungsdichte. Allgemeine Modelle für die Eintretenswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß, sowie Abhängigkeitsmodelle müssen in Kombination mit Daten aus Statistiken bestimmt werden. Die Wahl einer Abhängigkeitsstruktur sollte einfach zu implementieren sein und nur wenige Eingangsparameter benötigen. Es wird in der Folge beispielhaft auf das Copula-Konzept und die Fourier Transformation als Methoden zur Berechnung von Risikomodellen eingegangen. Diese Methode stellt eine von mehreren möglichen dar.

Ein Ansatz, der die Eintretenshäufigkeit und das Schadensausmaß getrennt modelliert, hat sich als sehr flexibel im Risikomanagement erwiesen. Die ermittelte, mittlere Häufigkeit und der Mittelwert des Schadens werden zur Bestimmung des erwarteten, aggregierten Verlustes herangezogen. Um eine flexible Analyse des zu Grunde liegenden Risikos zu ermöglichen, ist die Kenntnis der Verteilung des aggregierten Verlustes notwendig. Damit lassen sich die inherenten Einflüsse des Modellansatzes quantifizieren. Zusätzlich zu den Mittelwerten, besteht die Notwendigkeit Verteilungen für die möglichen Unsicherheiten in der Eintretenshäufigkeit und in der Variation jedes einzelnen Schadens zu beschreiben.

Bei der Modellierung der Eintretenswahrscheinlichkeit wird sehr häufig die Poissonverteilung als erster Ansatz verwendet. Die Unsicherheit bezüglich der Intensität λ , konkret wenn dafür eine Gamma-Verteilung angesetzt wird, führt zu einer Negativ-Binomial-Verteilung.

Die Modelle für die Verteilungen von Schadensgrößen können vielfältig sein. In vielen Fällen wird es notwendig sein, im ersten Ansatz theoretische Verteilungen zu verwenden. Eine Auswahl von Verteilungen ist, mit steigender Gewichtung des Randbereichs, nachstehend angeführt:

1. Pareto
2. Lognormal
3. Exponential Inverse Gaussian
4. Inverse Gaussian
5. Weibull
6. Gamma

Stehen ausreichend Daten zur Verfügung, dann können empirische Verteilungen zur Anwendung kommen. Nachdem eine Verteilung für das Schadensausmaß festgelegt wurde, besteht die Notwendigkeit daraus eine diskrete Verteilung zu konstruieren. Der aggregierte

Verlust wird als Summe Z einer zufälligen Anzahl N von einzelnen Schadensereignissen X_i beschrieben. Die Summe aus den Zufallszahlen

$$Z = X_1 + X_2 + \dots + X_N$$

hat eine Verteilungsfunktion

$$f_z(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \Pr(N = n) f_x^*(x)$$

mit $f_x^*(x)$ der n-fachen Faltung der Verteilungsdichte von $f_x(x)$. Die Berechnung dieser Summe erfolgt vorzugsweise mit Hilfe der Fast Fourier Transformation (FFT) oder der rekursiven Methode nach Panjer. Simulationsmethoden sind grundsätzlich in diesem Zusammenhang auch möglich, benötigen jedoch wesentlich mehr Rechenaufwand.

Fourier Transformation

Es existieren einfache Methoden zur Kombination von individuellen Risikoverteilungen, wenn die Schadensausmaßverteilungen von einander unabhängig und von den Eintretenswahrscheinlichkeiten als unabhängig angenommen werden. Die Kombination von Einzelrisiken X und Y mit ihren Eintretenswahrscheinlichkeiten N und K stellt sich folgend dar:

$$Z = (X_1 + X_2 + \dots + X_N) + (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_K)$$

Zur Berechnung des Faltungsintegrals werden die Einzelrisiken getrennt voneinander transformiert, $g = \text{FFT}(f_x)$ und $h = \text{FFT}(f_y)$. Die Eintretensraten N und K besitzen im Fall ihrer gegenseitigen Unabhängigkeit Wahrscheinlichkeitsfunktionen, Probability Generating Functions P_N und P_K , mit deren Hilfe die transformierte Größe $\text{FFT}(f_z)$ berechnet wird.

$$\text{FFT}(f_z) = P_N(g)P_K(h)$$

Durch Anwendung der inversen FFT erhält man die Verteilungsdichte f_z der aggregierten Einzelsrisiken. Sind die Eintretensraten miteinander korreliert, dann wird eine mehrdimensionale Probability Generating Functions für die Modellierung verwendet:

$$\text{FFT}(f_z) = P_{N,K}(g,h)$$

Copula-Konzept

Verschieden Arten von Risiken können mit der Hilfe der Copula kombiniert werden. Folgende Argumente sprechen dafür:

- Die Eigenheiten wie Schiefe und fat tails bleiben erhalten.
- Es ist nur eine begrenzte Information über Abhängigkeiten notwendig.
- Die Abhängigkeiten im Randbereich sind flexibel möglich.

Bei diesem Modell wird die Verteilung für mehrdimensionale Daten aus den einzelnen Randverteilungen und einer Copula (-funktion) gewonnen. Die Randverteilungen und die Copula werden voneinander unabhängig bestimmt. Die Copula beschreibt die Abhängigkeit der Daten vollständig. Vollständige Unabhängigkeit zwischen den Randverteilungen wird durch die Produkt-Copula dargestellt. Eine positive Abhängigkeit im Randbereich der Daten kann durch die Gumbel-Copula modelliert werden.

Jede gemeinsame Verteilungsfunktion kann als Funktion einer Copula $C(u,v)$ und den Randverteilungen f_x und f_y geschrieben werden.

$$F_{X,Y}(x,y) = C(f_x(x), f_y(y))$$

Eine Copula kann von jeder mehrdimensionalen Verteilung wie folgt ermittelt werden

$$C(u,v) = F_{X,Y}(F_X^{-1}(u), F_Y^{-1}(v))$$

Um ein Copula basierendes Wahrscheinlichkeitsmodell zu erstellen benötigt es zweier Schritte. Der erste Schritt besteht in der Bestimmung von Randverteilungen, indem probabilistische

Erhebungen gemacht werden und Verteilungen angepasst werden. Standardverfahren von Entscheidungstheorie und Risikoanalyse stehen dazu zur Verfügung.

Im zweiten Schritt wird eine Copula definiert, mit der die Abhängigkeiten zwischen den Variablen modelliert werden. Eine Möglichkeit ist die Beziehung zwischen den Randverteilungen mit dem Maß der paarweisen Abhängigkeit zu beschreiben. Zwei Maßgrößen sind ρ nach Spearman und τ nach Kendall. Diese Rangordnungskorrelationen, rank-order correlations, hängen nicht vom Verteilungstyp ab.

Eine spezielle Klasse der Copula Funktionen wird Archimedean genannt. Sie ist definiert mit

$$C(u_1, \dots, u_n) = \phi^{-1}(\phi(u_1) + \dots + \phi(u_n))$$

wobei ϕ eine Generatorfunktion ist, die bestimmte Bedingungen erfüllen muß. Wird für die Generatorfunktion folgender Ansatz gewählt

$$\phi(t) = (\log t)^\theta$$

dann ergibt sich eine Gumbel- Copula:

$$C(u, v) = \exp\left(-\left[(-\log u)^{-\theta} + (-\log v)^{-\theta}\right]^{1/\theta}\right)$$

Dieser Ansatz kann auf n Dimensionen erweitert werden. Der Parameter θ ist ein Maß der Abhängigkeit und wird mit Hilfe von Kendall's τ beschrieben.

ANHANG 6: Ermittlung von R mittels probabilistischer Ansätze

Im folgenden Beispiel wird die Ermittlung von Kosten für die Risikovorsorge mittels probabilistischer Ansätze dargestellt. Identifizierte Einzelrisiken werden definiert und zu einem Gesamtrisiko überlagert.

Identifiziertes Risiko	Risiko
Z ₁	Stabilität des Baugrunds
Z ₂	Vortrieb und Sicherung
Z ₃	Erschwernisse
Z ₄	Sonderbauwerke
Z ₅	Umfeldauswirkungen

Tabelle 1: Einzelrisiken im Tunnel bei konventionellem Vortrieb

Jedes einzelne Risiko kann genauer beschrieben werden, z.B. die Stabilität des Baugrunds (Z₁) kann in lokales und weit reichendes Versagen unterteilt werden. Beim lokalen Versagen kann wiederum weiter verfeinert werden, z.B. in die Kategorien Nachbruch bis 5 m³ (X₁), bis 20 m³ (X₂), ein lokales Brustversagen bis 20 m³ (X₃) und lokale starke Verformungen (X₄). Ein weit reichendes Versagen ist ein Verbrauch bis 500 m³ (X₅) oder ein weit reichendes Brustversagen, was allerdings im vorgenannten Verbrauch bereits berücksichtigt ist.

Die im Projekt ermittelten Intensitätsraten $\lambda_1, \dots, \lambda_5$, Ereignisse bezogen auf die Tunnellänge, und der erwartete Wert der Folgekosten je Kategorie X₁,...,X₅ werden mittels der Methode nach Panjer zu einer Risikoverteilung f_{Z_1} aggregiert. Am Beispiel der Stabilität des Baugrunds wird ein einfaches Poissonmodell zur Beschreibung des Einzelrisikos Z₁ angewendet.

$$Z_1 = \frac{1}{\lambda} (\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \lambda_3 X_3 + \lambda_4 X_4 + \lambda_5 X_5)$$

$$\lambda = \sum \lambda_i$$

Die Kosten für außergewöhnliche Ereignisse X₁,...,X₅ werden als Lognormalverteilung LN(..) in das Modell aufgenommen und erhalten einen Variationskoeffizienten $V_X = 0.10$.

Ereignis	λ [Ergebnis/Tunnel]	E[X] [€/Ereignis]	D[X] [€]
X ₁	13	1450	150
X ₂	1.3	5810	580
X ₃	5.3	1450	150
X ₄	2.0	53700	5400
X ₅	0.13	1090000	109000

Tabelle 2: Stabilität des Baugrunds: Intensitätsraten (λ_i), Erwartungswert (E[X]) und Streuung des Baukostenrisikos (D[X]) in €

Bei einem konventionellen Vortrieb kann es speziell in der Risikokategorie Vortrieb und Sicherung zu Mehrkosten als auch zu Kostenverringerungen kommen. Für die Berechnung des Einzelrisikos werden diese beiden Bereiche getrennt mittels eines Poissonmodells berechnet.

Die Verschiebung der Vortriebsklasse kann zu Mehrkosten (X_6) oder Kostenreduktion (X_{10}) führen. Analog verhält es sich durch die Beanspruchung durch schwachen Schwellendruck, (X_7) und (X_{11}). Weitere Gefährdungsbilder sind nachdrängende Lasten (X_8) und Versagen des Vortriebskonzeptes (X_9).

Die beiden Komponenten werden danach mittels einer Frank Copula verknüpft. Zwischen den Ereignissen, die zu Mehrkosten und Minderkosten führen, ist eine Korrelation zu beachten, die hier mit $\theta = 0.3$ angenommen wird. Es zeigt sich in Abbildung 1, dass diese Art von Einzelrisiko auch im negativen Wertebereich des Risikos einen Verlauf besitzt.

$$Z_{2a} = \frac{1}{\lambda}(\lambda_6 X_6 + \lambda_7 X_7 + \lambda_8 X_8 + \lambda_9 X_9)$$

$$Z_{2b} = \frac{1}{\lambda}(\lambda_{10} X_{10} + \lambda_{11} X_{11})$$

$$f_{X,Y}(x,y) = C_{Frank}(f_{Z_{2a}}(z_{2a}), f_{Z_{2b}}(z_{2b}), \theta)$$

Ereignis	λ [Ergebnis/Tunnel]	E[X]	D[X]
X_6	1	670000	67000
X_7	0.26	50000	50000
X_8	0.1	40000	4000
X_9	0.13	1450	150
X_{10}	0.5	-670000	67000
X_{11}	0.26	-50000	50000

Tabelle 3: Vortrieb und Sicherung: Intensitätsraten (λ_i), Erwartungswert und Streuung des Baukostenrisikos in [kATS]

Analog wird für die Risiken Erschwernisse, Sonderbauwerke und Umfeldauswirkungen vorgegangen. Das Gesamtergebnis ist für alle Zi in Form der Summenverteilung in Abbildung 1 dargestellt.

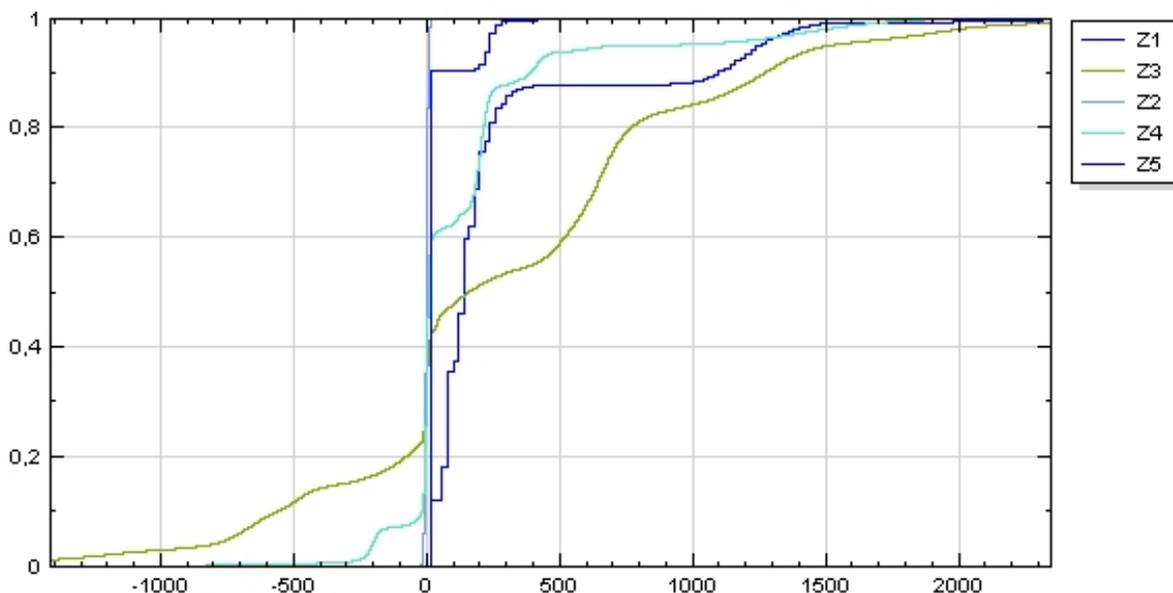


Abb. 1: RV_{KE1} Verteilung der Einzelrisiken Z_1, \dots, Z_5 , Kosten in [1000 €]

Die Einzelrisiken werden mit Hilfe einer Frank Copula kombiniert. Die Korrelation zwischen den Einzelrisiken werden mit den Parametern $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ beschrieben und müssen auf empirischen Weg ermittelt werden. In diesem Beispiel werden alle $\theta_i = 0.5$ gesetzt.

$$f_Z(\mathbf{z}) = C_{Frank}(f_{Z_1}(z_1), f_{Z_2}(z_2), f_{Z_3}(z_3), f_{Z_4}(z_4), f_{Z_5}(z_5); \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$$

Diese Formel wird mittels Monte Carlo Simulation berechnet. Bei jedem Simulationsschritt werden Realisationen von $C(\cdot, \cdot)$ erzeugt und mit den Inversfunktionen $Z_i = F_{Z_i}^{-1}(u_i)$ in Risikokosten umgewandelt. Die Einzelrisiken werden zum Gesamtrisiko summiert und ergeben die Summenverteilungen in Abbildung 2. Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen, wird die Kurve in Quantilendarstellung transformiert. Auf der vertikalen Achse werden dabei die Wahrscheinlichkeiten auf der horizontalen Achse die Auswirkungen auf die Kosten angegeben. Aus der Quantilendarstellung des Gesamtrisikos kann in einfacher Form die Auswirkung auf die Kosten abgelesen werden. Legt man z.B. 95% fest so bedeutet der Level auf der Horizontalen Achse, dass in 95% aller Fälle die Gesamtauswirkungen aller Risiken kleiner als dieser Wert sind.

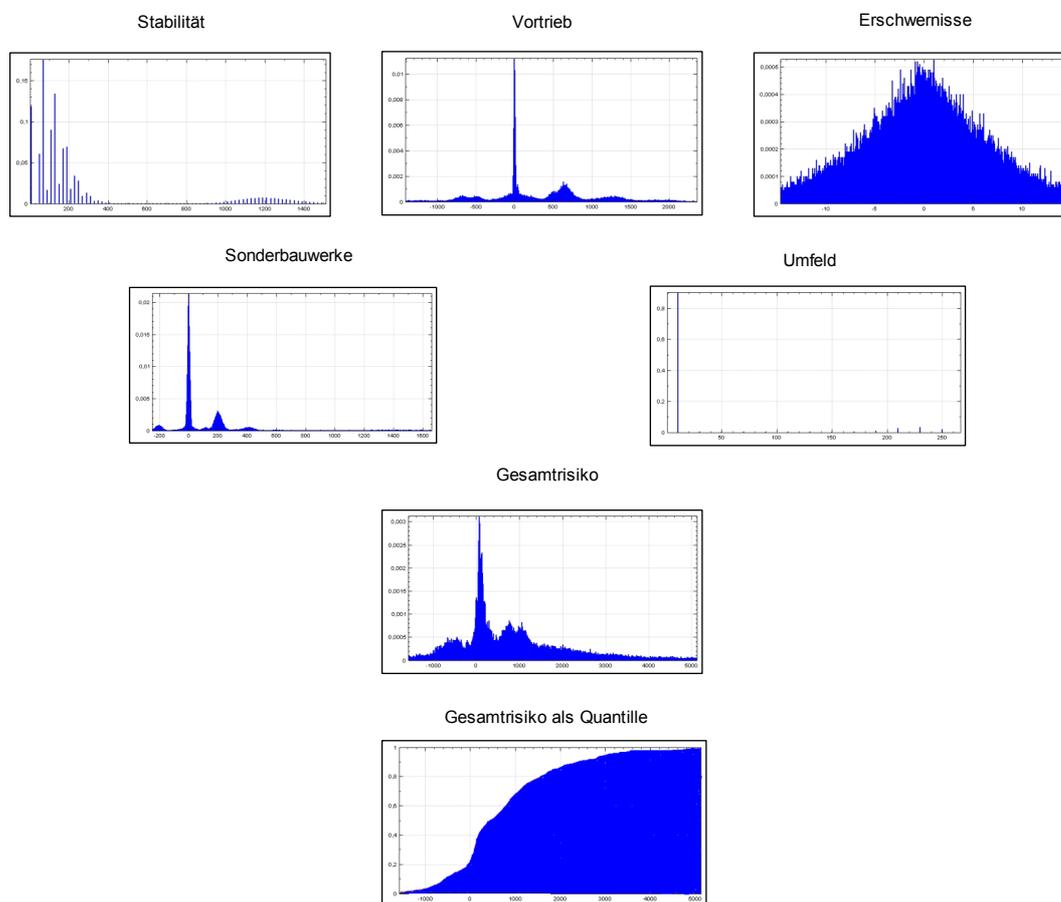


Abb. 2: Verteilung des Gesamtrisikos, Kosten in [1000 €]

