

# Der Trugschluss der exakten Zahl

## Fortschrittlichere Wege zur Kosten- und Risikoanalyse

Philip Sander / Markus Spiegl

Prognosen wie Kostenermittlungen und Risikoanalysen sind Voraussagen über die Zukunft und daher immer unscharf. Deterministische Methoden suggerieren nur eine hohe Genauigkeit aufgrund ihrer exakten Zahl, welche allerdings real eine hohe Unsicherheit mit sich bringt. Die Autoren präferieren es deshalb, mit probabilistischen Methoden zu arbeiten.

### 1. Einleitung

Für den Besteller, Eigentümer oder Investor ist eine möglichst genaue Kostenprognose schon in der Frühphase eines Projekts äußerst wichtig. Die übliche deterministische Methode – basierend auf Menge  $\times$  Preis und prozentuellen Zuschlägen für Unbekanntes (Risiken) und eventueller Vorausvalorisierung – liefert praktischerweise genau eine Zahl, deren konkreter Wahrheitsgehalt aber gegen null geht. Die sich mehr oder weniger stochastisch einstellende Realität wird davon immer mehr oder weniger stark abweichen.

Auch die Verbesserung der deterministischen Zahl mit einem Zusatz, zB  $\pm 20\%$ , negiert bereits die Erfahrungstatsache, dass wohl jeder mehr Projekte mit  $+20\%$  kennt als mit  $-20\%$ .

Prognosen wie Kostenermittlungen und Risikoanalysen sind Voraussagen über die Zukunft und Prognosen sind daher immer unscharf. Deterministische Methoden suggerieren nur eine hohe Genauigkeit aufgrund ihrer exakten Zahl, welche allerdings real eine hohe Unsicherheit mit sich bringt.

Kostenprognosen für die Zukunft sind unscharfe Probleme und können besser mit probabilistischen Methoden bearbeitet werden. Gerade auch in frühen Projektphasen ist dies der Fall, wo weder die exakten Mengen noch die genauen Kosten bzw. Preise bekannt sind. Mengen werden eingangs durch Grobelemente ermittelt. Eine Feingliederung ist aufgrund des geringen Kenntnisstands in dieser Projektphase meist noch nicht vorhanden. Bei einem deterministischen Vorgehen werden Informationen über eine mögliche Abweichung (nach oben oder unten) vom eingetragenen Wert der Mengenvordersätze und der möglichen Kosten nicht berücksichtigt, obwohl diese Informationen oftmals vorliegen bzw. leicht abzuschätzen sind.

Diese wichtigen Informationen über mögliche zukunftsbedingte Unsicherheiten bleiben allerdings dann erhalten, wenn statt einer exakten Zahl die Angabe einer Bandbreite erlaubt ist und die Werte innerhalb der Bandbreite nach Bedarf noch zusätzlich gewichtet werden können. Um mit Unsicherheiten arbeiten zu können, greift bereits 1959 Carnap die



Dipl.-Ing. Philip Sander ist Geschäftsführer einer Unternehmensberatung für Kosten- und Risikomanagement in Innsbruck.



Dipl.-Ing. Dr. techn. Markus Spiegl ist Geschäftsführer eines Ingenieurbüros für Baubetrieb und Bauwirtschaft sowie einer Unternehmensberatung für Kosten- und Risikomanagement, beide in Innsbruck.

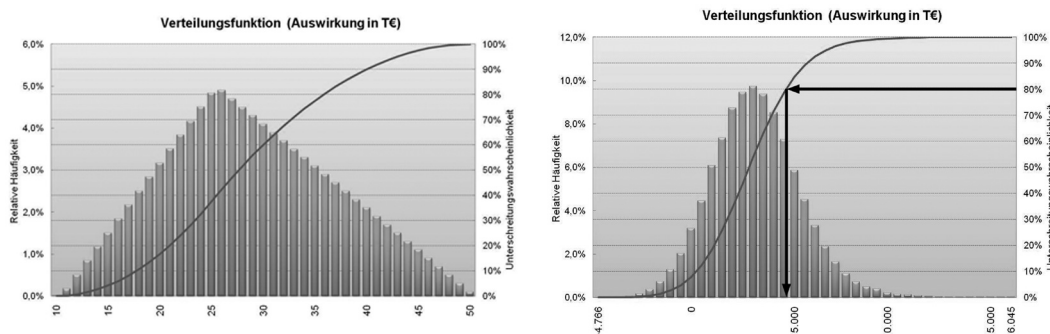


Abbildung 1: links: Verteilungsdichte Dreiecksfunktion; rechts: Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Ermittlung des Budgets für eine 80 % Deckung (€ 4,54 Mio)

„Das Verhalten eines deterministischen Systems in der Zukunft wird eindeutig und vollständig durch Anfangsbedingungen in der Gegenwart oder Vergangenheit festgelegt.“<sup>1</sup> Ein deterministisches System steht für eine vollständige Erklärung und eine eindeutige Vorhersage. Dass ein deterministisches System bei Prognosen, die aufgrund ihres Vorhersagecharakters mit Unschärfen behaftet sind, nicht mit Erfolg angewendet werden kann, ist demnach offensichtlich.

**Die populäre Forderung nach einer exakten Zahl steht in direktem Widerspruch zum Wunsch nach einer möglichst genauen Prognose.**<sup>2</sup>

Idee der induktiven Logik auf und erweitert diese um den Bereich der Wahrscheinlichkeitstheorie.<sup>3</sup> Der Ansatz ermöglicht somit eine Auswertung von Ergebnissen entsprechend den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitstheorie.

Da heutzutage die technischen Voraussetzungen für die flächige Anwendung solcher erweiterter Methoden gegeben sind, lässt sich dieser Ansatz auch für Prognosen bei Bauprojekten übertragen. So lassen sich Erfahrungswerte zB aus vorangegangenen Projekten mithilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie (Einbeziehung von Unschärfen) auf ein zukünftiges Projekt bedingt übertragen.

1 Lauth/Sareiter, Wissenschaftliche Erkenntnis (2005) 67.

2 Sander/Spiegl/Schneider, Die exakte Zahl – Gedanken zum Umgang mit Unschärfen, in FS Wanninger (2010).

3 Carnap/Stegmüller, Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit (1959).

## 2. Probabilistische Methoden

Um Unschärfen zu berücksichtigen, können Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie angewandt werden. Die Bandbreiten für Kosten und Risikoansätze werden durch sogenannte Verteilungsdichten (Bandbreite der möglichen Kosten mit Gewichtung der Werte) modelliert.

In Abbildung 1 (links) auf Seite 65 ist eine solche Verteilungsdichte dargestellt. Die Kosten werden hier zwischen € 10.000,- und € 50.000,- geschätzt und sind zusätzlich noch gewichtet. So wird als wahrscheinlichster Wert € 25.000,- prognostiziert, die Verteilung ist zudem unsymmetrisch. Werden prognostizierte Werte durch die Angabe von Bandbreiten beschrieben, so ist eine simple Addition zu einem Gesamtergebnis nicht mehr möglich. Die einzelnen Verteilungsdichten werden dann mittels Simulationsverfahren (Monte-Carlo-Simulation, Latin-Hypercube-Sampling) verdichtet. Das Ergebnis ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, mit der sich konkrete Aussagen über das gesamte Kosten- und/oder Risikopotenzial und dessen Wahrscheinlichkeiten machen lassen. Auf Basis der dargestellten Werteinheiten (zB Geld) mit zugehöriger Wahrscheinlichkeit kann nun der Auftraggeber/Investor entscheiden, welches Kostenpotenzial in das Budget aufgenommen werden soll. Wenn es das Ziel ist, 80 % des Risikopotenzials zu decken, dann ist der Wert für die Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 80 % (Value at Risk) zu ermitteln (Abbildung 1 rechts).<sup>4</sup>

Die Angabe einer exakten Zahl bei Prognosen erscheint unter Berücksichtigung der genannten Aspekte abwegig. Man stelle sich einen privaten Bauherrn vor, der von einem Architekten eine Kostenprognose für den Bau seines Einfamilienhauses von € 175.000,- erhält. Solche determinierten Prognosen sind üblich, obwohl allen Beteiligten klar ist, dass das Bauvorhaben nie genau € 175.000,- kosten wird. Der wahre Wert wird darunter oder im häufigsten Fall darüber liegen. Es ist nicht klar, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Kosten von € 175.000,- über- bzw unterschritten werden. Diese Information wäre allerdings für den Bauherrn wichtig, um seine Finanzierung besser planen zu können.

Liegt allerdings die Information über eine mögliche Kostenbandbreite unter Berücksichtigung von Unschärfen vor (Wahrscheinlichkeitsverteilung), so ist dem Bauherrn ersichtlich, welche Kosten mit welcher zugehörigen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden sollten. Er kann dann das Budget für Kosten und Risiken in Übereinstimmung mit seiner eigenen Risikobereitschaft bestimmen und entsprechend berücksichtigen.<sup>5</sup>

## 3. Psychologischer Aspekt

Bei größeren Projekten ist sehr schnell der Umstand gegeben, dass mehrere Sachbearbeiter und/oder Planungsbüros an der Kostenermittlung mitwirken.

4 Morgan/Henrion/Small, Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis (1992); Vose, Risk Analysis – A quantitative Guide (2008).  
5 Sander/Spiegel/Schneider, Risk management for large infrastructure projects, Tunnels&Tunnelling April 2009.

In Rahmen der Prüftätigkeit der Verfasser zeigen sich dabei sehr häufig dieselben sich wiederholenden Probleme. Insbesondere fehlen einheitliche Vorgaben zur Strukturierung, zur Detaillierung und zur Vorgabe gleicher Kostenfaktoren über die Projektteile hinweg. Ungenügende Berücksichtigung in der Kostenermittlung finden zudem häufig baugelastische Erfordernisse sowie Schnittstellenfragen zwischen Baulosen und Bauphasen.

Psychologisch nachvollziehbar, aber sachlich problematisch werden überall Reserven (bei Menge und Kosten) eingebaut, welche bei Verdichtung der Kosten nach oben aber nicht mehr identifizierbar sind, wodurch weitere Zuschläge zum selben Zweck dazugegeben werden usw.

In den letzten Jahren wurden vermehrt vollprobabilistische Kosten- und Risikoanalysen nach Methode 4 der ÖGG-Richtlinie zur Kostenermittlung durchgeführt.<sup>6</sup> Diese Vorgangsweise konnte ihre Stärke dort ausspielen, wo ein hoher Grad an Standardisierung der Kosten- und Risikoanalyse vorlag und von den Projektleitungen über alle zuliefernden Dienstleister konsequent durchgezogen wurde.

Als Schlüsselfaktor hat sich gezeigt, dass die Ermittlung der Basiskosten im Sinne „nackter Basiskosten“, das heißt ohne Reserven, erfolgen muss. So simpel diese Grundforderung klingt, so schwierig ist diese „psychologische Hürde“ vielfach zu nehmen.

Eine saubere Trennung der Gesamtkosten in spezifische Kostenanteile ist Voraussetzung für eine zutreffende Ermittlung, wobei hier klar vorgegeben sein muss, welche Aufschläge wann



Abbildung 2: Differenzierung der einzelnen Kostenanteile

aufzuschlagen sind. So dürfen eigentliche Risikozuschläge nicht in der Phase der Basiskostenermittlung in die Kostenansätze addiert werden. Mögliche Preisschwankungen aufgrund von Kon-

6 Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, Kostenermittlung für Projekte der Verkehrsinfrastruktur (2005).

jukturveränderungen bilden ein separates Risiko, das in den Kostenanteil Risiken aufzunehmen ist.

Im Bereich eines großen Infrastrukturauftraggebers wurden in den letzten Jahren sehr grundsätzliche Schritte gesetzt, um die Kostenermittlung zu standardisieren und gleichzeitig die Schnittstelle zum Projektkostencontrolling zu verbessern.<sup>7</sup> In diesem Zusammenhang wurde auch eine Softwarelösung zur weiteren Vereinheitlichung der Kostenermittlung umgesetzt, welche schlussendlich auf PSP-Elementebene auch das Projektkostencontrolling bedient.

#### 4. Beispiel Risikoanalyse

Bei der Risikobewertung ist, wie auch bei der Basiskostenermittlung, das Kalkulationsschema das zentrale Modul. Für die Risikoanalyse wird die Methode zusätzlich um die Eintrittswahrscheinlichkeit erweitert.

Im folgenden Beispiel handelt es sich um ein Ereignisbaumszenario. Im ersten Schritt wird die Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet:

Beim Ausbau eines Speichersees für ein Wasserkraftwerk wird in der Kostenberechnung der Neubau einer Baustraße zum Speichersee vorgesehen. Der Neubau der Baustraße ist in der Kostenberechnung mit € 1.000.000,- angesetzt. Aufgrund genehmigungsrechtlicher Gründe wurde ein Risiko von 40 % angesetzt, dass der Bau der Straße nicht genehmigt wird.

In diesem Falle (Eintritt des Risikos) stehen zwei Alternativen zur Verfügung:

1.) Nutzung und Ausbau einer vorhandenen teilweise öffentlichen Straße zum Speichersee. Die Wahrscheinlichkeit dafür wird auf nur 20 % geschätzt.

2.) Bei nicht erfolgreicher Genehmigung zur Nutzung der öffentlichen Straße muss eine Materialseilbahn für die Bauzeit errichtet und betrieben werden. Dies wäre die teuerste Variante, da hier Bau und Betrieb der Materialseilbahn zu Buche schlagen würden.

Das Szenario lässt sich als Ereignisbaum grafisch darstellen:

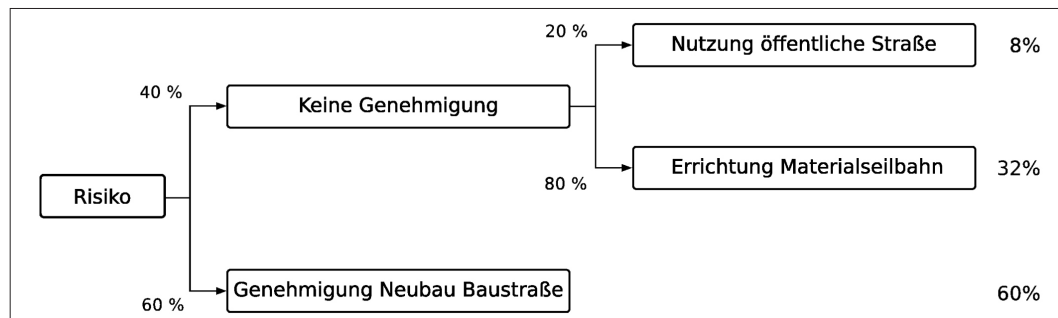


Abbildung 3: Szenario Ereignisbaum

In 60 % der Fälle tritt das Risiko gar nicht ein, das heißt, es entstehen keine abweichenden Kosten zur Kostenberechnung. In diesem Fall würde dies bedeuten, dass die Position „Neubau Baustraße“, die mit € 1.000.000,- angesetzt ist, zum Tragen kommt. Für jedes der drei Szenarien lässt sich über Multiplikation der einzelnen Äste eine Eintritts-

wahrscheinlichkeit (EW) errechnen, die für die probabilistische Berechnung der Risikokosten für jedes Szenario eingesetzt wird.

Im zweiten Schritt sind die Kosten für die zwei abweichenden Szenarien (Nutzung öffentliche Straße und Errichtung Materialseilbahn – zusammen 40 % EW) monetär zu bewerten. Bei nicht erfolgter Genehmigung tritt eines der beiden Szenarien ein. Dabei entfallen auf jeden Fall die in der Kostenberechnung enthaltenen Kosten für die geplante Baustraße. Es entstehen somit für diese beiden Szenarien auf Projektkostenstufe (ohne Life-Cycle-Betrachtung) erst einmal Minderkosten von € 1.000.000,-.

Wie bei der Basiskostenermittlung werden die Risikoszenarien mit jeweils mehreren Kostenpositionen bewertet, die wiederum jeweils detailliert mit Menge und Preis beschrieben werden können. Für die genannten Szenarien wurden vereinfacht folgende pauschale Kostenpositionen angesetzt (siehe Tabelle 1 auf Seite 68).

Die Modellierung der Bandbreite der Werte (min. – erw. – max.) erfolgt in den meisten Fällen ausreichend genau mit einer Dreiecksfunktion.



Für die Beispielszenarien sind die Werte stark vereinfacht dargestellt. Generell ist eine detailliertere Ausarbeitung zu empfehlen (siehe Tabelle 2).

Nach Simulation erhält man folgendes Ergebnis als Wahrscheinlichkeitsverteilung (siehe Abbildung 4 auf Seite 68).

Gut zu erkennen ist, dass die Verteilungsfunktion erst bei 60 % Unterschreitungswahrscheinlichkeit startet, unterhalb tritt das Risiko nicht ein bzw. realisiert sich die Kostenermittlung. Es zeigen sich zwei Verteilungen innerhalb der Gesamt-

verteilung. Diese lassen sich hier noch den beiden Szenarien zuordnen – links das Szenario „Nutzung öffentliche Straße“, rechts das Szenario „Errichtung Materialseilbahn“.

Das Flächenverhältnis ist Indikator für die Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien und spiegelt deren Verhältnis wider: 8 % zu 32 % oder 1 zu 4.

<sup>7</sup> ÖBB, Handbuch zur Kostenermittlung (2009).

Tabelle 1:  
**Szenario Nutzung öffentliche Straße EW = 8 %:**

Kostenposition	Einheit	Min. [€]	Erw. [€]	Max. [€]
Entfall Neubau Baustraße	PA	-1.000.000	-1.000.000	-1.000.000
Ausbau Bestandsstraße	PA	467.500	550.000	880.000

Tabelle 2:  
**Szenario Errichtung Materialseilbahn EW = 32 %:**

Kostenposition	Einheit	Min. [€]	Erw. [€]	Max. [€]
Entfall Neubau Baustraße	PA	-1.000.000	-1.000.000	-1.000.000
Bau und Betrieb Materialseilbahn	PA	1.912.500	2.250.000	2.925.000

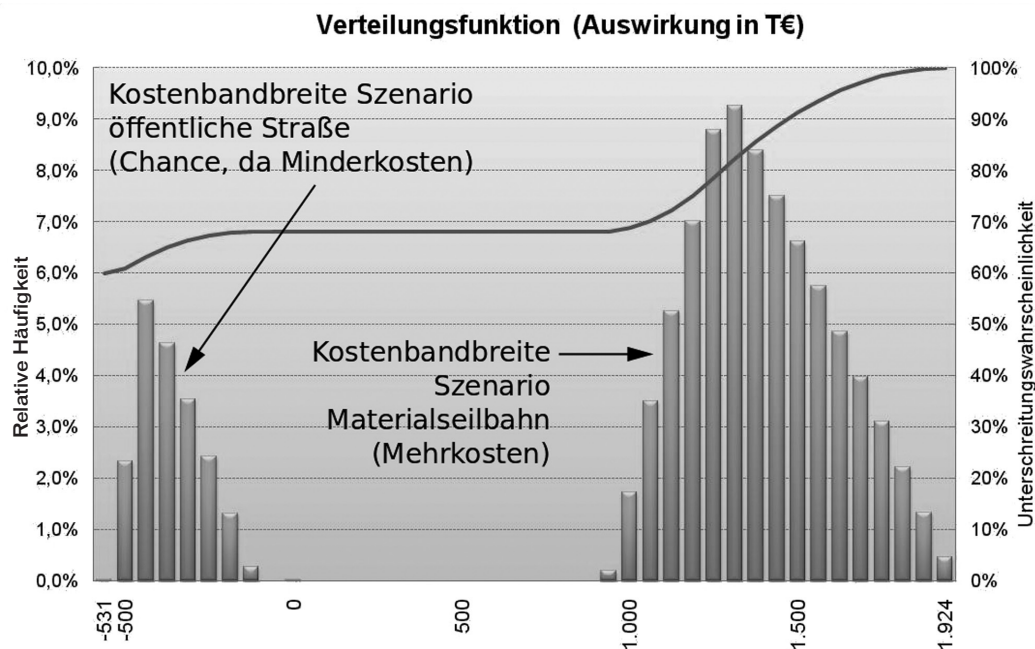


Abbildung 4: Wahrscheinlichkeitsverteilung als Simulationsergebnis

Die X-Achse zeigt die mögliche Kostenbandbreite für die beiden Szenarien an. Die Bandbreite des Szenarios „Nutzung öffentliche Straße“ besteht nur aus Minderkosten, da die eingesparten € 1.000.000,- aus der nicht ausgeführten Baustraße nicht komplett durch die Kosten für die Aufrüstung der Bestandsstraße aufgezehrt werden. Die Bandbreite liegt zwischen einer Ersparnis gegenüber der Kostenberechnung von zirka € -100.000,- bis zirka € -530.000,-. Am wahrscheinlichsten ist der Betrag mit der größten Häufigkeit innerhalb der Bandbreite (zirka € -400.000,-).

Die Bandbreite für das Szenario „Errichtung Materialseilbahn“ reicht von zirka € 900.000,- bis zirka € 2.000.000,-. Allerdings sind hier Mehrkosten gegenüber der Kostenermittlung dargestellt, da der Bau und Betrieb der Materialseilbahn deutlich mehr kostet als die Ersparnis aus dem Entfall der Baustraße. Der wahrscheinlichste Wert für dieses Szenario liegt bei zirka € 1.300.000,- Mehrkosten.

Das Beispiel verdeutlicht, wie sich auch komplexere Szenarien mittels Anwendung der Probabilistik recht gut veranschaulichen lassen, bei

denen im Gegenzug eine deterministische Ermittlung bereits im Ansatz scheitert. Zum Vergleich würde eine deterministische Berechnung für das oben angenommene Szenario folgendes Ergebnis auswerfen:

$$\begin{aligned}
 & 8 \% \times (\text{€ } -1.000.000,- + \text{€ } 550.000,-) \\
 & + 34 \% \times (\text{€ } -1.000.000,- + \text{€ } 2.250.000,-) \\
 & + 60 \% \times \text{€ } 0,- \\
 & = \text{€ } 36.000,- + \text{€ } 425.000,- + \text{€ } 0,- \\
 & = \text{€ } 461.000,-
 \end{aligned}$$

Diese eine deterministische Zahl liegt in einem Wertebereich, der nach probabilistischer Analyse überhaupt nicht eintreten kann. Die realen möglichen Kosten liegen entweder weit darüber oder auch weit darunter, wie es das Ergebnis der probabilistischen Analyse veranschaulicht (Abbildung 4). Der geringe Informationsgehalt der „beschränkten“ deterministischen Ermittlung führt hier zwangsläufig zu einem grundlegend falschen Ergebnis – obwohl die Berechnung formell mathematisch nicht falsch ist –, auf dessen Basis unbewusst Fehlentscheidungen getroffen werden könnten.

## Zusammenfassung

Die Angabe einer deterministisch ermittelten Zahl suggeriert eine Sicherheit, die diese Zahl schlichtweg nicht erfüllen kann. Selbst die Ergänzung um eine Bandbreite von  $\pm 20\%$  negiert die Erfahrungstatsache, dass wohl jeder mehr Projekte mit  $+20\%$  als mit  $-20\%$  kennt. Kosten haben im Allgemeinen eine sehr starke Asymmetrie, die entsprechende Berücksichtigung finden muss.

Jede Kostenprognose ist mit Unschärfen behaftet, sodass vor dem Hintergrund einer Budgetsicherheit des Auftraggebers mit adäquaten Methoden und Hilfsmitteln begegnet werden muss.

Die theoretischen Grundlagen sowie eine vereinzelte Richtlinie zur praktischen Umsetzung liegen vor. Als Schlüsselfaktor hat sich jedoch die Verwendung von Me-

thoden und Softwarelösungen herauskristallisiert, die bauspezifisch zugeschnitten sind und sich in kurzer Zeit auf das Projekt anpassen lassen. Fehlschläge sind vorprogrammiert, wenn das Projekt so „zurechtgebogen“ werden muss, dass es in die „Software passt“.

Seitens der Autoren wurden in den letzten Jahren mehrere Projekte mit vollprobabilistischer Kosten- und Risikoanalyse nach Methode 4 der ÖGG-Richtlinie erfolgreich durchgeführt.

Die Berechnungen erfolgten mit dem Software-Tool „Risk Analysis and Administration Tool“ (RIAAT), das eigens für vollprobabilistische Kostenermittlungen und Risikoanalysen entwickelt wurde.<sup>8</sup> Mit diesem Tool besteht erstmals die Möglichkeit, mit vertretbarem Aufwand eine vollprobabilistische Kostenprognose mit höherer Aussagekraft über die wahrscheinlichen Projektkosten durchzuführen.

<sup>8</sup> Information zur Systematik und Anwendung unter <http://www.riskcon.at>.

## Alles zum Thema Normung

Austrian Standards plus GmbH (AS+) ist Ihr erster Ansprechpartner für Normen, Fachliteratur, Software und Dienstleistungen.

Austrian Standards plus   
More Than Just Standards.

### Aus- und Weiterbildung von AS+T

- Erstellung des K3-Blattes – Metallverarbeitendes Gewerbe und Haustechnikgewerbe**  
Wien/AS+T, 21. März 2011

---

- Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten**  
Wien/AS+T, 22. und 23. März 2011

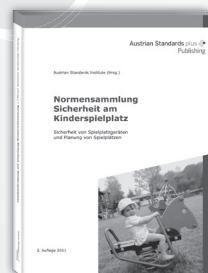
---

- Lehrgang zum zertifizierten Anti-Claim-Manager**  
Wien/AS+T, Beginn: 11. April 2011

Nähere Informationen unter  
[www.as-plus.at/trainings](http://www.as-plus.at/trainings)

Neu!

### Fachliteratur von AS+P



Austrian Standards Institute (Hrsg.)

**Normensammlung Sicherheit am Kinderspielplatz** – Sicherheit von Spielplatzgeräten und Planung von Spielplätzen

2. Auflage 2011,  
310 Seiten, kart.  
ISBN: 978-3-85402-228-2  
Preis: EUR 198,00 (exkl. USt)

- Die wichtigsten 11 Normen zum Thema „Kinderspielplätze“ auf einen Blick
- Kompakter und praxisorientierter Überblick über die ÖNORM B 2607 – „Spielplätze – Planungsrichtlinien“ und die Normenreihe ÖNORM EN 1176

Nähere Informationen unter  
[www.as-plus.at/publishing](http://www.as-plus.at/publishing)