

# Stochastische Kalkulation als Entscheidungshilfe



Walter LIBERDA, Dipl.-Ing., Jahrgang 1947, Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der TU Graz, Bauleiter im Autobahn- und Landesstraßenbau, seit 1977 Ass. am Institut f. Baubetrieb u. Bauwirtschaft. Lehrbeauftragter für EDV i. Baubetrieb u. Bauwirtschaft an der TU Graz. Verschiedene Veröffentlichungen über Kalkulation und EDV-Anwendung.

Die bei jedem Kalkulationswert vorhandene Bandbreite wird durch »scharfe« oder »weniger scharfe« Kalkulation je nach Markt- und Auftragslage und sonstiger subjektiver Kriterien beschnitten. Das Endprodukt ist ein undifferenzierbarer Marktpreis. Im nachfolgenden Modell sollen aus Nachkalkulationswerten Parameter für eine Verteilungsform der Herstellkosten errechnet werden, die verschiedene Entscheidungshilfen bei der Preisermittlung geben können.

## 1. Einleitung

Bei Anbotseröffnungen sind Schwankungen um 50% bis 100% zu verzeichnen. Hier mag der Wettbewerb eine gewisse Rolle spielen.

Aber selbst bei ARGE Abstimmungen, wo eigentlich noch »reine« Kostenrechnung betrieben werden sollte, gibt es in den Gesamtsummen beachtliche Schwankungen (10—20%), die sich noch wesentlich vergrößern, wenn man einzelne Positionen vergleicht (40—50%).

In der Diskussion zeigt sich dann oft, daß diese Kalkulationsschwankungen keine Fehler sind, sondern verschiedene Einschätzungen ein und desselben Sachverhaltes. Bisher nimmt die Beurteilung dieser »Zufallsvariablen«, die eines von mehreren Risiken darstellen, notgedrungen der Kalkulant bei jedem Ansatz vor.

»Diese Beurteilung wird aber aufgrund von Zeitmangel und sonstigen Kriterien sehr subjektiv durchgeführt« (Zitat eines techn. Geschäftsführers). Dadurch werden »spekulative« Herstellkosten ermittelt, die in ihrer Bandbreite nicht mehr überschaubar sind.

## 2. Herleitung von Verteilungsfunktionen

Es liegt daher nahe, Zufallsverteilungen zu finden, die die Leistungsansätze annähern, um damit weiterrechnen zu

können. Bei [1] wird vermutet, daß es sich dabei um Gammaverteilungen handeln könnte, [2] spricht von Gamma-, Erlang- oder Chi-Quadrat-Verteilungen.

### 2.1. Verteilung der Leistungsansätze

Eigene Untersuchungen haben eine gute Annäherung an zweiparametrische Gammaverteilungen ergeben:

$$f(y) = \frac{y^{a-1}}{b^a \cdot \Gamma(a)} \cdot e^{-y/b}$$

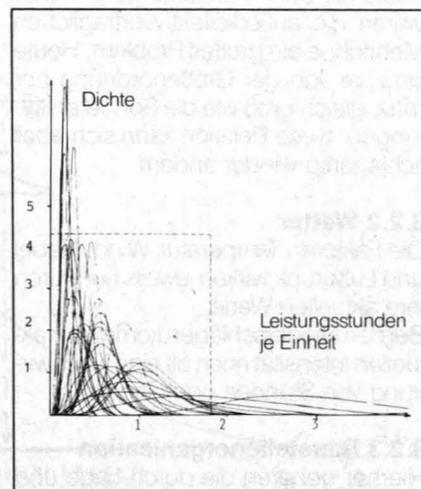


Abb. 1: Überblick über die häufigsten Verteilungsformen.

Dabei gilt für den Großteil der gefundenen Kurven, daß 80% der Werte im Bereich

$$0,6 \cdot p_{50} < x < 1,6 \cdot p_{50}$$

liegen wie Abb. 1 zeigt. ( $p_{50}$ ... Zentralwert oder Median)

Diese Werte passen recht gut mit dem realistischen Baugeschehen zusammen.

### 2.2. Verteilung des Anbotspreises

Für den Anbotspreis ergibt sich daraus nicht wie bisher ein fixer Wert, sondern wieder eine Verteilung mit einer bestimmbaren Form und Bandbreite. (siehe Abb. 2)

Dazu ein Beispiel:

Ich schätze die Baukosten mit 10 Mio Schilling. Wenn es nächstes Jahr schön ist, eine gute Mannschaft vorhanden ist, und die Verkehrsbedingungen gut sind, können die Kosten bei nur 9,3 Mio Schilling liegen. Wenn die Randbedingungen schlecht sind, können sie auch bei 11 Mio Schilling liegen. Hier kommen nun verschiedene Einflußarten zum Tragen, die endogenen Einflüsse, die im Kalkulanten, in der Firma oder in der Leistung liegen und die exogenen Einflüsse der ungewissen Zukunft, die der Kalkulant nicht beeinflussen kann.

Wenn im Gedankenmodell ein und dieselbe Baustelle 100mal ausgeführt wird, ergäbe das 100 Nachkalkulationen und daraus könnte man nun eine Verteilung der Einzelkosten sowie der Gesamtkosten finden. (Abb. 2)

Die Frage, ob diese Verteilung (Abb. 2) und die Streuung nun hingenommen werden müssen oder nicht, hängt mit der Art der Einflüsse zusammen.



### 3. Faktoren die zur Streuung führen

Es sollen nun einige Gruppen von Faktoren definiert werden, die die Treffsicherheit des Kalkulanten beeinflussen:

- Endogene Faktoren  
Diese Faktoren sind entweder vom Kalkulanten oder von der Firma direkt beeinflussbar oder zumindestens relativ klar vorhersehbar.
- Exogene Faktoren  
Diese Faktoren sind vom Kalkulanten weder beeinflussbar noch klar abschätzbar. Sie stellen Randbedingungen dar, die der Kalkulant in der vollen Tragweite nicht abschätzen kann (siehe 3.1.) oder Randbedingungen, die der Kalkulant überhaupt nicht kennen kann, weil sie

Baustellenorganisation  
Verkehrsbedingungen  
unbekannte Geologie und Grundwasser  
unvorhersehbare Mengenschwankungen  
Kostenentwicklung der erforderlichen Ressourcen  
Bauleiter seitens des Bauherrn  
Subunternehmerleistung  
Investitionserfordernisse (evtl. durch Neuentwicklungen)  
siehe dazu auch [3].

#### 3.2.1 Zusammensetzung der Mannschaft

Abgesehen vom Ausbildungsstand (endogener Faktor) und Motivation (3.2.3) spielt hier besonders die tatsächliche Bezahlung eine besondere

Stellung. Es kann sich bei der Durchführung etwa herausstellen, daß die geplante Form der Einrichtung nicht möglich ist, woraus andere Kosten für die Firma entstehen können.

#### 3.2.4 Verkehrsbedingungen

Bei Durchführung der Baumaßnahme kann sich herausstellen, daß die Transportmöglichkeiten falsch eingeschätzt wurden. Das kann technische oder organisatorische Gründe haben, es kann aber auch umweltbedingt entstehen (z. B. Lärmbelästigung — Wetter).

#### 3.2.5 Geologie und Grundwasser

Selbst bei guten Bodenaufschlüssen können kleinräumige Störungen bei Geologie und Bodendurchlässigkeit den Bauverlauf empfindlich stören. Unter diesem Punkt könnte man auch Naturereignisse wie Hochwasser, Sturm, Hagel etc. subsumieren.

#### 3.2.6 Unvorhergesehene Mengenschwankung

Dieses Problem tritt im Erdbau bei ungenügenden geologischen Aufschlüssen auf. Im Hochbau oder konstruktiven Ingenieurbau wird es durch nachträgliche Planänderungen hervorgerufen. Selbst eine kalkulatorisch nachgewiesene Preisänderung wird erst bei Überschreiten von festgelegten Prozentsätzen genehmigt.

#### 3.2.7 Kostenentwicklung der erforderlichen Ressourcen

Hier geht es darum, die Kostenentwicklung einigermaßen genau abzuschätzen. Oft verzögert sich die Vergabe, und der tatsächliche Baubeginn entspricht nicht dem ausgeschriebenen. D.h. selbst der sorgfältigste Versuch, zukünftige Kosten abzuschätzen, wird dadurch ad absurdum geführt.

#### 3.2.8 Bauleitung seitens des Bauherrn

Die Bauleitung des Bauherrn hat im Bauverlauf vielfältige Entscheidungen zu treffen, wovon etliche auch für die Lösung akuter technischer Probleme notwendig sind. Bei diesen Entscheidungen gibt es eine ganz legitime Bandbreite. Wenn die Lösungen verschiedene Kosten für den Bauherrn verursachen, wird wohl für die billigste entschieden werden. Es können verschiedene Lösungen

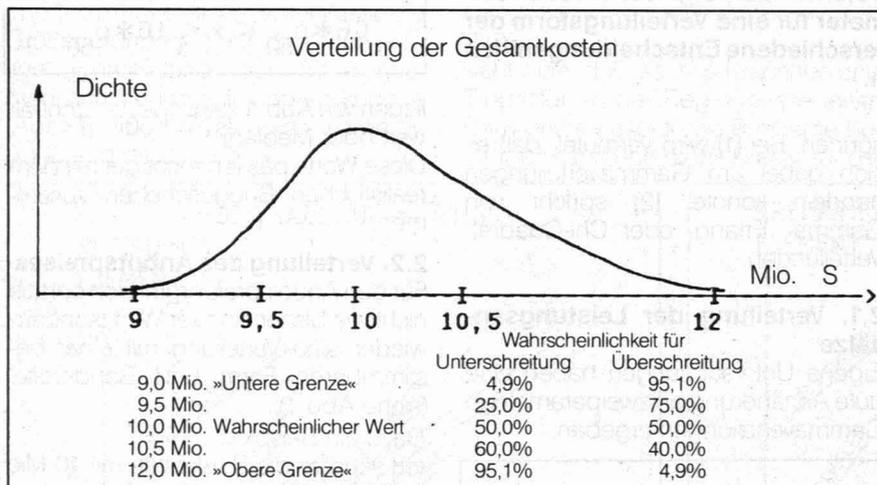


Abb. 2: Verteilung der Gesamtkosten.

erst in Zukunft auftreten (siehe 3.2.) werden.

#### 3.1. exogene Faktoren der Vergangenheit

Diese Faktoren sind zwar nicht vom Kalkulanten, aber dafür vom Ausschreibenden zu beeinflussen und es ließen sich die daraus resultierenden Probleme durch ein entsprechendes Verhalten des Ausschreibenden größtenteils eliminieren.

#### 3.2. exogene Faktoren der Zukunft

Darunter ist die unbekannte Zukunft zu verstehen, die aber auf die Ansätze der Vorkalkulation einen ganz wesentlichen Einfluß hat.

Als Faktoren wären hier unter anderen anzuführen:

- Zusammensetzung der Mannschaft
- Wetter

Rolle.

Der wesentlichste Faktor dabei sind heute die Sondererstattungen. Früher waren die außerkollektivvertraglichen Mehrlöhne ein großes Problem. Heute sind sie von der Größenordnung her max. gleich groß wie die Sondererstattungen, diese Relation kann sich aber schlagartig wieder ändern.

#### 3.2.2 Wetter

Die Faktoren Temperatur, Wind, Nebel und Luftdruck wirken jeweils nur durch ihre aktuellen Werte.

Bei den Niederschlägen kommt zur aktuellen Intensität noch oft eine Nachwirkung von Stunden oder Tagen.

#### 3.2.3 Baustellenorganisation

Hierher gehören die durch Lage und Art der Baustelle bedingten Probleme, wie zum Beispiel die Baustelleneinrich-

aber für den Bauherrn kostenneutral sein, obwohl für die Baufirma sehr unterschiedliche Kosten entstehen. Somit hat auch die Bauleitung des Bauherrn im absolut legitimen Rahmen einen gewissen Einfluß auf die Kosten, die der Baufirma entstehen.

### 3.2.9 Subunternehmerleistung

Für den Subunternehmer gelten sämtliche angeführten Faktoren in gleicher Weise und er wird, soweit es ihm sein Vertrag ermöglicht, versuchen, seine Probleme auf den Hauptunternehmer abzuwälzen.

### 3.2.10 Investitionserfordernisse

Durch die Verzögerung der Auftragserteilung oder durch den gleichzeitigen Zuschlag bei mehreren Bauten können kapazitive Engpässe entstehen, die durch Neuanschaffungen überwunden werden. Daraus wird meistens eine Leistungssteigerung resultieren, die Kostensteigerung könnte aber gerade heute (durch fehlende Anschlußaufträge und daher erhöhte Abschreibung) überproportional sein.

Diese exogenen Faktoren werden bisher rein gefühlsmäßig je nach Marktlage berücksichtigt. Mit statistischen Aussagen wäre es möglich, hier gezielte Bewertungen durchzuführen.

## 4. Modell für die stochastische Kalkulation

Wie in [4] aufgezeigt, sind die einzelnen Leistungsansätze nicht unabhängig voneinander, sondern es gibt hier verschiedene Einflußfaktoren, von denen einer oder mehrere auf die einzelnen Leistungen wirken. Das bedeutet aber, daß sich die Streuung des einzelnen Leistungsansatzes aus verschiedenen Faktoren zusammensetzt. Um nun einen Wert zu erhalten, benötigt man beispielsweise vier zufällige Faktoren, die entsprechend der Abb. 3 zu verknüpfen wären.

In dem entwickelten Modell wurde auch der Bruttomittelohn nicht als Konstante, sondern als Zufallsverteilung angenommen. In erster Näherung wurde er einer Normalverteilung

gleichgesetzt. Damit ergibt sich für die Herstellkosten

$$HK = \sum_p (BML * Lh_p + c_p) * v_p$$

- $p$  ..... Anzahl der Positionen
- $BML$  ... Bruttomittelohn (Zufallsvariable)
- $Lh_p$  ..... Leistungsansatz (Zufallsvariable)
- $c_p$  ..... Sonstige Kosten d. Position  $p$  (in erster Näherung konstant angenommen)
- $v_p$  ..... Menge d. Pos.  $p$  (in erster Näherung konstant)

Das bedeutet also, ich habe je Baustelle eine Verteilung für den Bruttomittelohn sowie je eine Verteilung für jeden Leistungsansatz (siehe Abb. 4).

Für das Modell wurde der Zusammenhang zwischen Bruttomittelohn und Leistungsansatz in erster Näherung als Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten  $r \sim -0,95$  angenommen, d.h. bei hohem Bruttomittelohn ergibt sich ein niedriger Leistungsansatz und bei einem niedriger Bruttomittelohn ein hoher Leistungsansatz mit einer gewissen Streubreite wie dies Abb. 5 zeigt.

Für die Errechnung der Herstellkosten ist nun der Bruttomittelohn (also die Normalverteilung) mit jedem der einzelnen Leistungsansätze (also mit den Gammaverteilungen) zu multiplizieren. Dazu ist als konstante Größe der Betrag der sonstigen Kosten zu addieren, und das Ergebnis mit der Menge zu multiplizieren. Das ergibt die Herstellkosten je Position, für die sich zeigen läßt, daß sie sich auch durch Gammaverteilungen annähern lassen. (Siehe dazu Abb. 6).

Die Summe der Herstellkosten je Position ergeben die Gesamtherstellkosten. Für diese läßt sich nun ein Mittelwert und ein Streubereich errechnen, wobei sich zeigt, daß die Differenz vom Minimum zum Maximum etwa den Anbietergebnissen der Praxis (100 — 150%) sehr nahe kommt.

## 5. Schluß

Wenn durch eine entsprechend dichte Nachkalkulation genügend Werte vorhanden sind, können für die wesentlichen Positionen die Verteilungsparameter errechnet werden. Entsprechend der Verknüpfung in Abb. 6 lassen sich die Parameter der Herstellkosten je Position ermitteln und aus die-

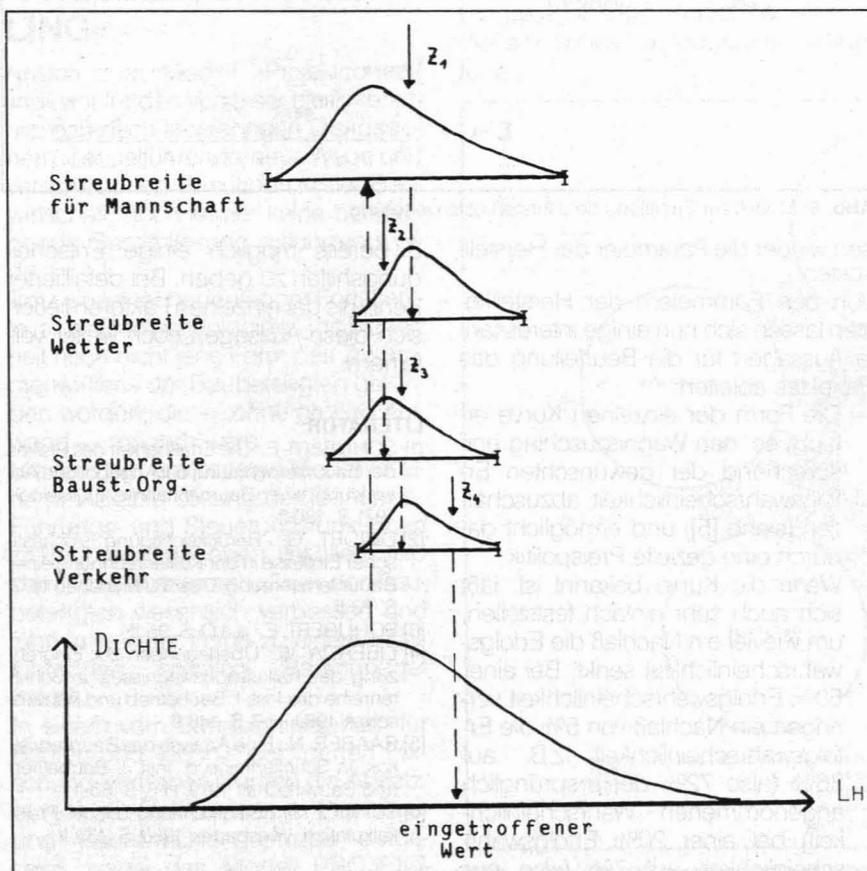


Abb. 3: Zusammenspiel verschiedener Leistungsfaktoren in einem Leistungsansatz.

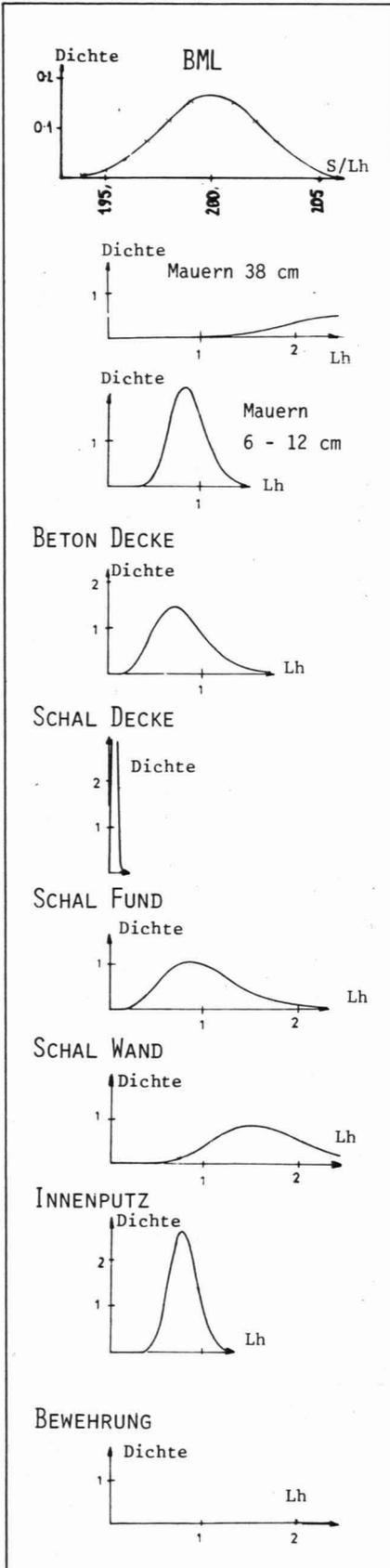


Abb. 4: Verteilung der Lohnkosten und der Leistungsansätze.

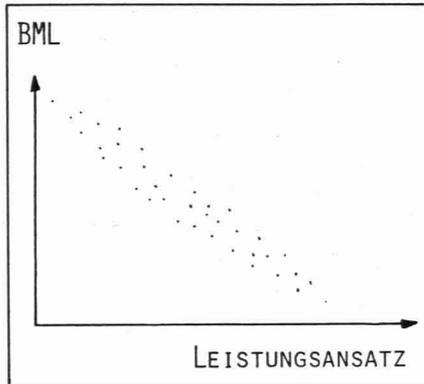


Abb. 5: Korrelation zwischen BML und Leistungsansatz.

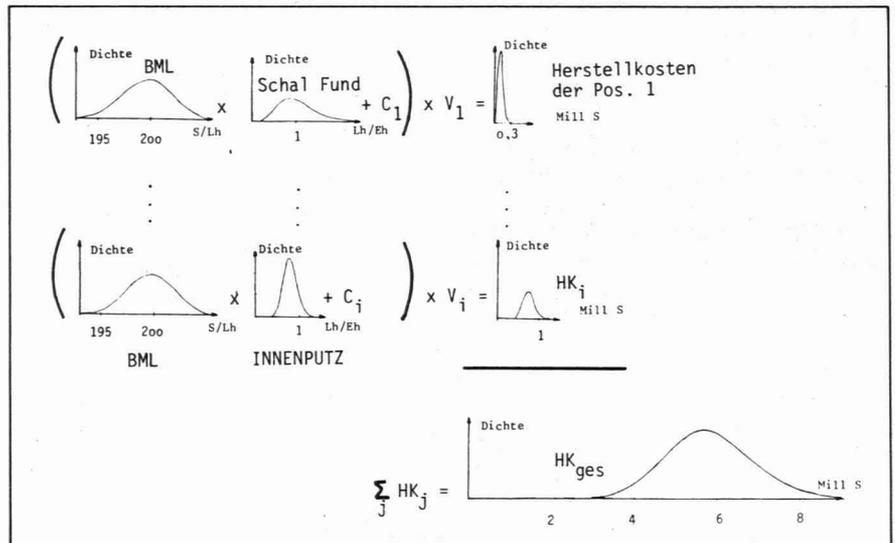


Abb. 6: Modell zur Ermittlung der Herstellkostenverteilung.

sen wieder die Parameter der Herstellkosten.

Von den Parametern der Herstellkosten lassen sich nun einige interessante Aussagen für die Beurteilung des Projektes ableiten:

- Die Form der einzelnen Kurve erlaubt es, den Wagniszuschlag entsprechend der gewünschten Erfolgswahrscheinlichkeit abzuschätzen (siehe [5]) und ermöglicht dadurch eine gezielte Preispolitik.
- Wenn die Kurve bekannt ist, läßt sich auch sehr einfach feststellen, um wieviel ein Nachlaß die Erfolgswahrscheinlichkeit senkt. Bei einer 50% Erfolgswahrscheinlichkeit verringert ein Nachlaß von 5% die Erfolgswahrscheinlichkeit z.B. auf 36% (also 72% der ursprünglich angenommenen Wahrscheinlichkeit) bei einer 20% Erfolgswahrscheinlichkeit auf 7% (also nur mehr 1/3 der ursprünglich ange-

- nommenen Wahrscheinlichkeit).
- Der Variationskoeffizient  $x/s$  ermöglicht es, die Streubreite verschiedener Baustellen zu vergleichen. Damit können Aussagen über die Gefahr von Fehleinschätzungen zwischen den einzelnen Projekten getroffen werden (siehe [6])
- über die Variation der einzelnen Parameter des BML, sowie des Vordersatzes lassen sich auch Einflüsse auf die Streubreite des Anbotes feststellen.

Trotz der sehr vielfältigen Abhängigkeiten ist es auch ohne Kenntnis der einzelnen Faktoren nach Kap. 3 bzw. Abb.

3 bereits möglich einige Entscheidungshilfen zu geben. Bei detaillierter Kenntnis der einzelnen Faktoren ließen sich diese Aussagen noch weiter verfeinern.

**LITERATUR:**

[1] SCHUBERT, E.: Die Erfäßbarkeit des Risikos der Bauunternehmung bei Angebot und Abwicklung einer Baumaßnahme, Düsseldorf 1971 S. 130 ff  
 [2] DINORT, G.: Berücksichtigung stochastischer Einflüsse in der Kostenrechnung einer Bauunternehmung, Diss. TU München 1977, S. 73 ff  
 [3] SCHUBERT, E.: a.a.O. S. 95 ff  
 [4] LIBERDA, W.: Überlegungen zur Eingrenzung des Kalkulationswagnisses, in Schriftenreihe des Inst. f. Baubetrieb und Bauwirtschaft 1984, H 7, S. 146 ff  
 [5] RAABER, N.: Eine Analyse des Baupreisrisikos, in Schriftenreihe d. Inst. f. Baubetrieb und Bauwirtschaft 1979, H 5, S. 60 ff  
 [6] SCHULZ, J.: Risikorechnung bei der Preiskalkulation, Wiesbaden 1980, S. 139 ff

