
2 Grundlagen

Folgendes Kapitel bietet Definitionen und detaillierte Erläuterungen zu zentralen Fachbegriffen des Buchs. Dies soll vor allem dazu dienen, ein solides und einheitliches Verständnis der beschriebenen Zusammenhänge, Methoden und Anwendungsfälle zu gewährleisten. Teilweise gibt es in der einschlägigen Literatur sowie in Regelwerken für Begriffe unterschiedliche Definitionen und Interpretationen. Dies führt zur Notwendigkeit, dass die Autoren die Bedeutung der wichtigsten im Buch verwendeten Begriffe festlegen und vorab klären.

2.1 Chance/Risiko

Die Verwendung des Chancen-/Risikobegriffs ist durchaus kontrovers und erfordert eine genauere Betrachtung um präzise Aussagen treffen zu können. Speziell im Bauwesen, welches als risikobehaftete Branche gilt, ist – auch wenn das Chancen- und Risikomanagement noch am Beginn der flächendeckenden Umsetzung steht – keine eindeutige Verwendung der Begrifflichkeiten gelungen.

Es erfolgt eine Darstellung der Verwendung des Risikobegriffs im allgemeinen Sprachgebrauch, in der Wirtschaft und speziell in der Bauwirtschaft und im Baubetrieb.

Die Begriffe ‚Unsicherheit‘, ‚Risiko‘ oder ‚Ungewissheit‘ werden in vielen Bereichen des täglichen Lebens, aber auch in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet. Eine klare Definition bzw. eine unmissverständliche Verwendung der Begriffe ist allerdings bisher nicht 100 %ig gelungen. Da es viele verschiedene Definitionen gibt, muss im Vorhinein eine Klarstellung erfolgen, was im konkreten Fall mit dem zentralen Begriff des Risikos, aber auch mit verwandten Begriffen wie ‚Unsicherheit‘, ‚Ungewissheit‘, ‚Gefahr‘, ‚Chance‘ etc. gemeint ist.

2.1.1 Etymologische Herkunft

Die Herkunft des Begriffs ‚Risiko‘ ist nicht restlos geklärt. Die Etymologie¹⁾ weist aber im Grunde zwei Ansätze auf (siehe Abb. 2-1). Einerseits wird der Begriff auf das italie-

nische Wort ‚rischiare‘ und weiter auf das lateinische ‚risicare‘ zurückgeführt. Damit wird ‚die Klippe, die zu umschiffen ist‘, ein ‚gefährlicher Felsen‘ bzw. allgemein ein ‚gewagtes Unternehmen‘ beschrieben. In dieser Auffassung ist das Risiko etwas menschlich Produziertes, das dabei entsteht, wenn einer Gefahr ausgewichen wird, die prinzipiell vermeidbar gewesen wäre. Der zweite Ansatz gründet auf dem griechischen Wort ‚riza‘, das auf den arabischen Ausdruck ‚rizq‘ zurückzuführen ist. Bei diesen Begriffen handelt es sich um eine vorgegebene Übermacht, der man ausgesetzt ist – auch als Schicksal bezeichnet. Sie beinhalten eine Mischung aus Positivem (Chance) und Gefahr und sind auch eng mit dem Begriff der Angst verbunden. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden etymologischen Ansätzen ist die Beeinflussbarkeit.²⁾

Historisch wird der Begriff des Risikos auch mit der Seefahrt und dem Handel verknüpft. Vor allem Seehandelsversicherungen mussten sich mit Risiken auseinandersetzen und auch entsprechende Verträge aufsetzen. Es wurde dazu auf die schon zur Zeit der Römer dafür verwendete Wette zurückgegriffen. Die Zufälligkeit von Ereignissen bzw. die Wette auf deren Eintritt oder Nichteintritt konnte auch auf die Seeversicherung übertragen werden.³⁾

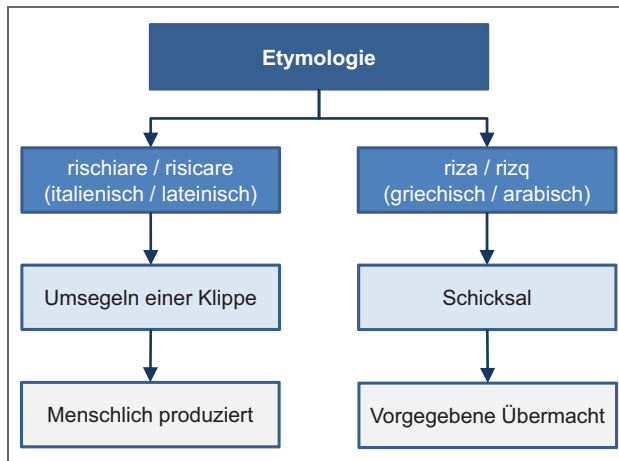


Abb. 2-1 Etymologie des Risikobegriffs⁴⁾

2.1.2 Allgemeiner Sprachgebrauch

Um die Bedeutung von bestimmten Begriffen herauszufinden genügt oft ein Blick in ein lexikalisches Standardwerk wie etwa den *Brockhaus*. Darin wird der Begriff des Risikos wie folgt definiert:

„[...] Verlustgefahren, Unsicherheits- und Zufälligkeitsfaktoren, die mit jeder wirtsch. Tätigkeit verbunden sind. Unterschieden werden natürl. Risiken (z.B. Sturmschäden), techn. Risiken (z.B. Produktionsmängel), soziale Risiken (z.B. Fluktuation), persönl. Risiken (z.B. Krankheit), polit. Risiken (z.B. Verstaatlichung) und bes. Marktrisiken (z.B. Konjunkturreinbruch, Branchenkrise). [...]“⁵⁾

¹⁾ Etymologie ist die Lehre von Ursprung und Geschichte der Wörter.

²⁾ Vgl. Jonen (2007), S. 4f.

³⁾ Vgl. Luhmann (1991), S. 18

⁴⁾ Vgl. Jonen (2007), S. 5

Gigerenzer hält fest, dass die Begriffe ‚Risiko‘ und ‚Ungewissheit‘ in der Alltagssprache meist synonym verwendet werden, meint aber auch, dass für eine Entscheidung unter Risiko Denken und Logik ausreichen, da die beste Entscheidungsoption berechnet werden kann. Es wird also vorausgesetzt, dass die Auswirkungen und die Wahrscheinlichkeiten bekannt sind. In ungewissen Situationen ist dies nicht bekannt und für die Entscheidungsfindung sind Faustregeln und Intuition erforderlich. Bei Glücksspielen wie etwa Automaten, Lotterien u.Ä. liegt nach *Gigerenzer* ein Risiko vor, da die Wahrscheinlichkeit eines Gewinnes berechnet werden kann. Unter den Begriff der Ungewissheit fallen nach dieser Auffassung z.B. Aktien, Erdbeben, Gesundheit oder allgemein die Wirtschaft.⁶⁾

Risiko als Gleichung:

Risiko wird oft mit der einfach anmutenden nachstehenden Gleichung angegeben:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} * \text{Konsequenz} \quad (2-1)$$

Betrachtet man z.B. die Herstellung von 10 Sichtbetonwänden, wobei einmal ein Schaden eingetreten ist, würde die Eintrittswahrscheinlichkeit aufgrund historischer Daten bei 10 % (= 1 / 10 * 100 %) liegen. Der Schaden (= Konsequenz) wird mit 10.000 € abgeschätzt. Somit ergibt sich das Risiko nach Glg. (2-1) mit 1.000 € (= 10.000 € * 10 % / 100 %). Dieser Wert könnte als Aufschlag in der Kalkulation berücksichtigt werden. Allerdings ist hier zu beachten, dass der Schaden bei einem Anwendungsfall sehr wohl 10.000 € betragen kann. Das errechnete Risiko gibt hier nur den im Mittel zu erwartenden Wert wieder. Der tatsächliche Schaden wird zwischen 0 und 10.000 € – evtl. auch darüber, je nach Qualität der Schätzungen – liegen.

Yoe schlägt vor, diese Gleichung als Gedankenmodell zur Ergründung des Risikobegriffs zu behandeln und nicht als Formel, die Risiken tatsächlich kalkulierbar macht. Es ist primär von Belang, dass beide Komponenten obenstehender Gleichung vorhanden sein müssen, damit überhaupt ein Risiko vorherrscht. Jede Konsequenz, egal wie gravierend sie auch sein mag, stellt kein Risiko dar, wenn sie keine Wahrscheinlichkeit des Eintretens hat.⁷⁾

Den Begriff des Risikos beschreibt *Yoe* als ein Maß der Wahrscheinlichkeit und Konsequenz von ungewissen zukünftigen Ereignissen. Es besteht demnach die Möglichkeit eines unerwünschten Ergebnisses. Wobei unter ‚Ergebnis‘ sowohl ein Verlust (z.B. durch Feuer, Flut, Krankheit, Tod, finanzielle Rückschläge) oder jede Form von Gefahr (‚hazard‘)⁸⁾ als auch ein potentieller Nutzen, der nicht realisiert werden konnte (z.B. ein neues Produkt das sich nicht wie erhofft durchsetzt, ein Investment liefert nicht die erwarteten Gewinne bzw. jede Form einer verpassten Chance), gemeint sein kann. Was diese Möglichkeit eines unerwünschten Ereignisses begründet, ist das Fehlen von Informationen. Diese Informationsknappheit ist durch eine grundlegende Unsicherheit der Zukunft bedingt.⁹⁾

⁵⁾ F.A. Brockhaus GmbH (1999c), S. 464

⁶⁾ Vgl. *Gigerenzer* (2013), S. 38

⁷⁾ Vgl. *Yoe* (2012), S. 1

⁸⁾ *Yoe* beschreibt eine Gefahr (‚hazard‘) in einem allgemeinen Sinn als alles, was eine potenzielle Quelle für Schaden an einem geschätzten Vermögenswert (menschlich, tierisch, wirtschaftlich, sozial etc.) darstellt. Sie beinhaltet alle biologischen, chemischen, physischen und radiologischen Ursachen oder natürliche/anthropogene Ereignisse die im Stande sind, nachteilige Effekte auf Menschen, Eigentum, Wirtschaft, Kultur, soziale Strukturen oder die Umwelt auszuüben. Vgl. *Yoe* (2012), S. 2

⁹⁾ Vgl. ebd., S. 1

Auch *Kaplan/Garrick* beurteilen die Charakterisierung von Risiko lt. Glg. (2-1) als irreführend. Dies begründen sie damit, dass ein Szenario mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und hohem Schaden das gleiche Risiko aufweist wie ein Szenario mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit und vergleichsweise geringen schadhafte Konsequenzen (siehe Abb. 2-2). Zwei solche Szenarien können aber in keinem Fall als gleich risikobehaftet angesehen werden.¹⁰⁾

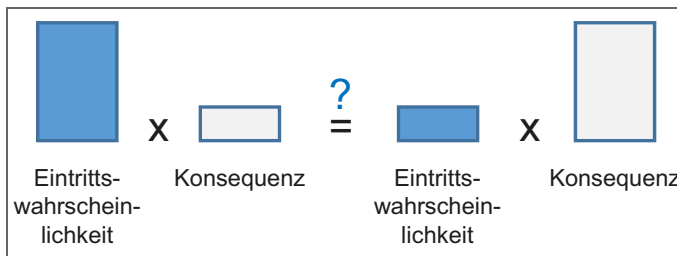


Abb. 2-2 Vergleichbarkeit von Risiken unter Anwendung der Risikogleichung¹¹⁾

Risiko vs. Sicherheit:

Risiko wird oft sinngemäß mit dem Begriff der Sicherheit gleichgesetzt. Es wird versucht ‚Sicherheit‘ zu gewährleisten und auch viele öffentliche Verhaltensweisen („public policies“) haben die ‚Sicherheit‘ als Ziel. Das Problem dabei ist jedoch, dass Grenzen festgelegt werden müssen, bis zu denen eine Veränderung und die damit einhergehenden Auswirkungen noch als sicher gelten. Diese Grenzen basieren somit auf rein subjektiven Entscheidungen, womit kein Anspruch an die wünschenswerte absolute Sicherheit gestellt werden kann. Sicherheit beinhaltet auch immer ein Restrisiko („residual risk“) und stellt somit lediglich eine psychologische Fiktion dar.¹²⁾

Risiko vs. Chance:

In anderen Sprachen und Kulturen ist eine Trennung zwischen den Begriffen nicht klar erkennbar. Im angloamerikanischen Raum wird bei Vorliegen von Chancen und Risiken auch von ‚Upside Risk‘ und ‚Downside Risk‘ gesprochen. Das chinesische Wort für ‚Krise‘ lautet ‚Weiji‘ und besteht aus zwei Schriftzeichen, die einzeln betrachtet die Worte ‚Gefahr‘ und ‚Chance‘ bilden. Eine Krise oder eine schwierige Situation bietet damit sowohl die Möglichkeit einer Gefahr als auch einer Chance.

Risiko vs. Gefahr:

Eine Unterscheidung zwischen Risiko und Gefahr wird darin gesehen, dass beim Risiko ein möglicher Schaden auf eine Entscheidung zurückzuführen ist, während bei der Gefahr ein etwaiger Schaden von externen Faktoren herbeigeführt wird (vgl. mit den etymologischen Ansätzen in Abb. 2-1). Entscheidet man sich beispielsweise zwischen zwei sehr ähnlichen Alternativen (zwei Fluggesellschaften – ein Flugzeug stürzt ab), ist es nicht zwingend der Fall, dass die Wahl auf die riskantere Option gefallen ist, sondern dass eine Gefahr eingetreten ist. Die Alternativen müssen sich also in ihrer Schadensausprägung deutlich unterscheiden.¹³⁾

¹⁰⁾ Vgl. Kaplan/Garrick (1981), S. 13

¹¹⁾ Kummer (2015a), S. 19

¹²⁾ Vgl. Yoe (2012), S. 4

¹³⁾ Vgl. Luhmann (1991), S. 30ff.

Könnte man also jede Gefahr durch eine Entscheidung in ein Risiko verwandeln? Diese Frage ist nicht so einfach zu klären, da es auch immer auf den Standpunkt des Beobachters ankommt. Was für den Entscheider ein Risiko darstellt, das er aufgrund von Entscheidungen (oder Nicht-Entscheidungen) eingegangen ist, stellt für Betroffene eine Gefahr dar, da sie einem möglichen Schaden nicht mit einer direkten Entscheidung begegnen können.¹⁴⁾ Der Geschädigte hat die Gefahr, die ihn bedroht, nicht selbst durch eine Entscheidung erzeugt, denn sonst wäre es ein Risiko.¹⁵⁾

Sowohl bei der Unterscheidung Risiko/Sicherheit als auch bei Risiko/Gefahr spiegelt der Begriff des Risikos einen sehr komplexen Sachverhalt wider, während die Gegenseite als Reflexionsbegriff dient. Beim Vergleich von Risiko/Sicherheit geht es darum das Messungsproblem festzuhalten und bei Risiko/Gefahr steht die Entscheidung im Mittelpunkt.¹⁶⁾ Für beide Unterscheidungen gilt jedoch, dass es kein risikofreies Verhalten gibt. In einem Fall bedeutet dies, dass es keine absolute Sicherheit gibt. Im anderen Fall, dass Risiken nicht vermieden werden können. Überholt man wie empfohlen nicht in einer unübersichtlichen Kurve, hat man – bei genauer Betrachtung – das Risiko nicht so schnell voranzukommen wie wenn man das Manöver gewagt hätte.¹⁷⁾

„Man kann nur riskant entscheiden – oder abwarten. Und die Form des Risikos besagt, daß auch das Abwarten eine riskante Entscheidung ist.“¹⁸⁾

Die angeführten Definitionen spiegeln eine vorwiegend negativ behaftete Auffassung des Begriffs Risiko wider. Kognitiv besteht also offensichtlich eine Verknüpfung zwischen Risiko und negativen Folgen (Schaden, Verlust, entgangene Chance etc.). Wie wird der Risikobegriff aber in der Wirtschaft gesehen? Dieser Frage wird in nachstehendem Abschnitt nachgegangen.

2.1.3 Verwendung in der Wirtschaft

Bei der Verwendung des Risikobegriffs im ökonomischen Kontext kommt es nicht mehr nur auf das reine sprachliche Verständnis des Wortes an, sondern die Messbarkeit der beiden Komponenten (Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenz – vgl. Glg. (2-1)) rückt in den Fokus der Definitionen.

Jonen untersuchte mit Hilfe eines semantischen Kastens insgesamt 329 Risikodefinitionen aus den unterschiedlichsten – hauptsächlich deutschsprachigen – Quellen (betriebswirtschaftliche Bücher, Zeitschriften, Sammelbände etc.).¹⁹⁾ Er erhielt den Befund, dass in den letzten Jahren ein starker Anstieg an Definitionsversuchen für den Risikobegriff zu verzeichnen war, was auf die zunehmende Bedeutung schließen lässt.²⁰⁾ Weiters zeigt die Untersuchung, dass ab ca. 1940 eine Zunahme des subjektiven Wahrscheinlichkeitsbegriffs in den Definitionen feststellbar ist und auch der relative Anteil der Chancennennungen in diesem Zeitraum moderat anstieg. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass ca. 87 % der untersuchten Definitionen aus dem betriebswirtschaftlichen Bereich stammen.²¹⁾

¹⁴⁾ Vgl. Luhmann (1991), S. 36f.

¹⁵⁾ Vgl. ebd., S. 112

¹⁶⁾ Vgl. ebd., S. 32

¹⁷⁾ Vgl. ebd., S. 37

¹⁸⁾ ebd., S. 81

¹⁹⁾ Vgl. Jonen (2007), S. 39ff.

²⁰⁾ Die untersuchten Begriffsdefinitionen stammen aus Quellen zwischen 1903 und 2006.

²¹⁾ Vgl. Jonen (2007), S. 39ff.

Für wirtschaftliche Belange gilt die Definition von *Knight* als eine Art Dogma, die in sehr vielen Arbeiten, die sich mit Risiken oder Risikomanagement befassen, zitiert wird. Die Definition nach *Knight* geht auch aus der Erhebung von *Jonen* als jene mit den meisten Referenzierungen hervor.²²⁾ Dies führte dazu, dass begrifflichen Innovationen vorgeworfen wurde, die Begriffe nicht richtig zu verwenden.²³⁾ *Knight* sieht die Unsicherheit als Überbegriff für Risiko und Ungewissheit. Können quantitative Messungen vorgenommen werden, spricht man von Risiko, ansonsten von Ungewissheit (siehe Abb. 2-3).

In der Konzeption von *Knight* ist es nicht möglich, für ungewisse Situationen quantitative Eintrittswahrscheinlichkeiten anzugeben. Gründe dafür können ihr einzigartiges Auftreten und/oder zu wenige Erfahrungswerte sein.²⁴⁾

Demnach handelt es sich um ‚Ungewissheiten‘, wenn zwar die möglichen Auswirkungen bekannt sind, die Eintrittswahrscheinlichkeiten jedoch nur geschätzt werden können.

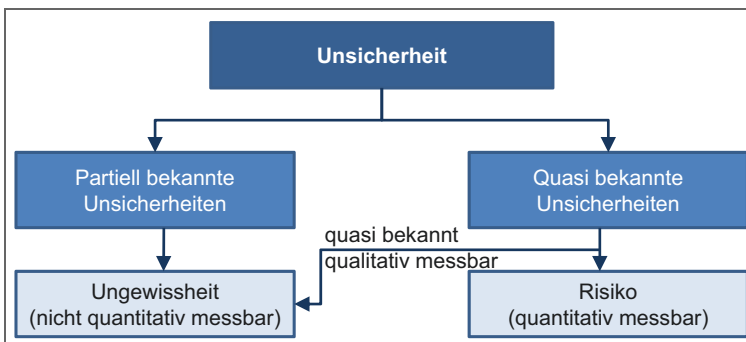


Abb. 2-3 Gliederung von Unsicherheiten lt. *Knight*²⁵⁾

Die Messbarkeit bzw. Quantifizierbarkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit ist in vielen Definitionsversuchen zentraler Bestandteil und gilt oft als Unterscheidungskriterium zwischen Risiko und Ungewissheit.

Dem Verständnis von Wahrscheinlichkeit liegen grundsätzlich zwei verschiedene Betrachtungsweisen zugrunde. Einerseits die ‚objektive‘ oder ‚frequentistische‘ Betrachtung, die ihr Verständnis für Wahrscheinlichkeit aus sich wiederholenden Experimenten (z.B. Münzwurf) bezieht. Andererseits das ‚subjektive‘ Verständnis von Wahrscheinlichkeit, welches einen Wissensstand, einen Grad des Glaubens oder einen Stand der Zuversicht widerspiegelt.²⁶⁾

Knight definiert weiters drei Arten von Wahrscheinlichkeitssituationen:²⁷⁾

- A Priori Wahrscheinlichkeit (logisch gewonnen)
- Statistische Wahrscheinlichkeit (empirisch gewonnen)
- Geschätzte Wahrscheinlichkeit

Logische und empirische Wahrscheinlichkeiten fasst *Knight* unter dem Begriff ‚Risiko‘ zusammen. Die Situation der geschätzten Wahrscheinlichkeit titulierte er als ‚Ungewissheit‘.²⁸⁾

²²⁾ Vgl. *Jonen* (2007), S. 42ff.

²³⁾ Vgl. *Luhmann* (1991), S. 9

²⁴⁾ Vgl. *Boeckelmann/Mildner* (2011), S. 2

²⁵⁾ *Wiggert* (2009), S. 71

²⁶⁾ Vgl. *Kaplan/Garrick* (1981), S. 17

²⁷⁾ Vgl. *Knight* (1971), S. 224f.

²⁸⁾ Vgl. *Boeckelmann/Mildner* (2011), S. 2

Die ‚Wahrscheinlichkeit‘, die sich aus Experimenten ergibt, sollte in dieser Hinsicht als ‚Frequenz‘ bezeichnet werden, denn es handelt sich dabei um eine ‚harte‘, messbare und objektive Zahl. Die ‚Wahrscheinlichkeit‘, die sich auf einen gewissen Wissensstand stützt, wird in dieser Hinsicht als ‚Wahrscheinlichkeit‘ bezeichnet. Sie scheint ‚weich‘, wechselhaft, subjektiv und nicht messbar (im herkömmlichen Sinne).²⁹⁾

In diesem Kontext bietet sich eine Erörterung der Statistik und deren wahrscheinlichkeitstheoretischer Zugang an. Die Statistik bedient sich für ihre wissenschaftlichen Analysen frequentistischer Informationen und Daten. Ausgehend von empirischen Daten kann auf Wahrscheinlichkeiten geschlossen werden und umgekehrt wird mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit einer mangelnden Datenlage begegnet. Die oft getätigte Aussage, dass nicht mit Wahrscheinlichkeiten gerechnet werden kann, wenn nicht ausreichend viele Daten vorliegen, ist ein Missverständnis. Gerade in diesem Falle bleibt nichts anderes zu tun als mit Wahrscheinlichkeiten zu rechnen.³⁰⁾

Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit ist keine exakte Wissenschaft. Sie basiert auf Branchendaten, früheren Projekten, Risikodatenbanken, Nachkalkulationen, ‚Post-Mortem-Analysen‘³¹⁾ oder auch nur auf bloßen Abschätzungen oder Vermutungen. Trotzdem sollte auf diesen Schritt in keiner Weise verzichtet werden.³²⁾

Das *Gabler Wirtschaftslexikon* definiert den Begriff des Risikos allgemein wie folgt:

„Kennzeichnung der Eventualität, dass mit einer (ggf. niedrigen, ggf. auch unbekannten) Wahrscheinlichkeit ein (ggf. hoher, ggf. in seinem Ausmaß unbekannter) Schaden bei einer (wirtschaftlichen) Entscheidung eintreten oder ein erwarteter Vorteil ausbleiben kann.“³³⁾

Diese Darstellung widerspricht der Auffassung nach *Knight*, bei der Risiken nur bei objektiven Wahrscheinlichkeiten vorliegen. Eine weitere Definition im *Gabler Wirtschaftslexikon* unter dem Begriff ‚Risiko‘ beschreibt diesen im Zusammenhang mit der Entscheidungstheorie wie folgt:

„Entscheidungssituation, bei welcher für das Eintreten von Ereignissen objektive Wahrscheinlichkeiten vorliegen.“³⁴⁾

Diese zweite Definition setzt eine objektive Wahrscheinlichkeit für Ereignisse voraus, um über Risiken sprechen zu können. Dies entspricht im Wesentlichen der Theorie von *Knight*³⁵⁾, die eine klare Trennung zwischen ‚Risiko‘ und ‚Ungewissheit‘ (‚uncertainty‘) fordert.

Hier zeigt sich auch das Problem der Übersetzung zwischen deutschsprachiger und englischer Literatur, denn das englische Wort ‚uncertainty‘ kann sowohl mit ‚Unsicherheit‘ als auch mit ‚Ungewissheit‘ übersetzt werden. Ähnliche sprachliche Divergenzen gibt es auch bei der Auffassung von Risiko und Chance (vgl. Upside Risk und Downside Risk).

Laux/Gillenkirch/Schenk-Mathes unterscheiden bei einer möglichen Erwartungsstruktur in Sicherheit und Unsicherheit, wobei im Sinne der Entscheidungstheorie zwischen ‚Unsicherheit im engeren Sinne‘ (was mit dem Begriff ‚Ungewissheit‘ gleichgestellt werden kann) und dem Begriff des Risikos differenziert wird (siehe Abb. 2-4). Nach dieser Auffassung können für Unsicherheiten im engeren Sinne (entspricht der Ungewissheit) auch keine subjektiven Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden.

²⁹⁾ Vgl. Kaplan/Garrick (1981), S. 17f.

³⁰⁾ Vgl. ebd., S. 18

³¹⁾ Dies sind Untersuchungen von gescheiterten Projekten, Fehlschlägen, falschen Entscheidungen etc.

³²⁾ Vgl. DeMarco/Lister (2003), S. 67

³³⁾ <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/6780/risiko-v15.html>. Datum des Zugriffs: 23.11.2016

³⁴⁾ ebd.

³⁵⁾ Dissertation aus dem Jahr 1921: „Risk, Uncertainty, and Profit“

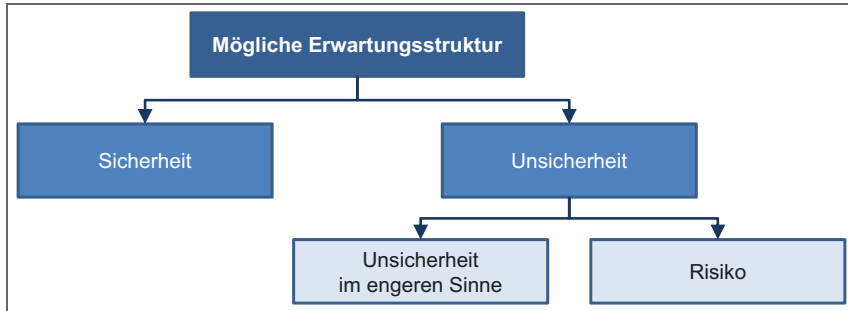


Abb. 2-4 Unsicherheit in der Entscheidungstheorie³⁶⁾

Es lässt sich auch die Konzeption auffinden, die zwischen ‚Risiko im engeren Sinne‘ und ‚Ungewissheit‘ unterscheidet, wobei ‚Unsicherheit‘ ebenfalls als Oberbegriff Verwendung findet.³⁷⁾ Letztere begriffliche Ordnung lässt sich auch im *Gabler Wirtschaftslexikon* auffinden.³⁸⁾ Von Ungewissheit wird dann gesprochen, wenn für das Eintreten zukünftiger Ereignisse zwar keine objektiven Wahrscheinlichkeiten vorliegen (dabei würde es sich um ein ‚Risiko‘ handeln), aber subjektive Wahrscheinlichkeiten gebildet werden können.³⁹⁾

Weitere Definitionen sehen das ‚Unwissen‘ als zusätzlichen Unterpunkt der Unsicherheit an (siehe Abb. 2-5), wobei im Falle von Unwissen Konsequenzen nicht oder nur teilweise bekannt sind und über deren Eintrittswahrscheinlichkeit keine Informationen vorliegen.

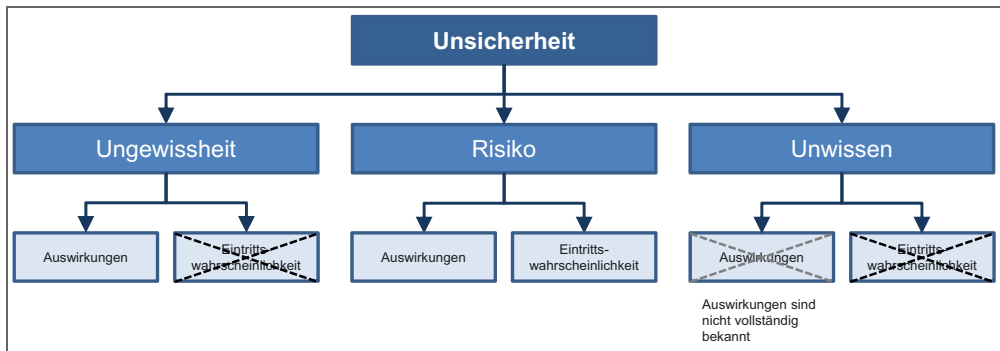


Abb. 2-5 Gliederung von Unsicherheiten⁴⁰⁾

Bei Ingenieurproblemen lassen sich Unsicherheiten wie folgt einteilen:

- aleatorische Unsicherheiten (Typ I – inhärente, physikalische Unsicherheiten) und
- epistemische Unsicherheiten (Typ II – Modellunsicherheiten oder statistische Unsicherheiten)

³⁶⁾ Vgl. Laux/Gillenkirch/Schenk-Mathes (2012), S. 33

³⁷⁾ Vgl. Gottschalk-Mazouz (2011), S. 503

³⁸⁾ Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9325/unsicherheit-v13.html>. Datum des Zugriffs: 22.11.2016

³⁹⁾ Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55049/ungewissheit-v3.html>. Datum des Zugriffs: 18.10.2016

⁴⁰⁾ Hofstadler (2012), Folie 10

Dabei werden aleatorische Unsicherheiten dadurch hervorgerufen, dass die Welt zufällig ist. Ein Zugewinn an zusätzlichen Informationen reduziert eine aleatorische Unsicherheit nicht. Epistemische Unsicherheiten dagegen entstehen aus einem Mangel an Wissen, einer inadäquaten bzw. ungenauen Modellierung oder aus begrenzten Informationen bzw. einer zu geringen Anzahl an Daten.⁴¹⁾

Um einen tieferen Einblick in die wissenschaftliche Konzeption von Risiken zu erhalten, wird nachfolgend auf die nationale Umsetzung der ISO 31000 – die ONR 49000 „Risikomanagement für Organisationen und Systeme“ – eingegangen. Ziel der internationalen Norm ISO 31000 war es, einen Standard für Risikomanagement und eine einheitliche Sprache zu schaffen. Die ONR 49000:2014 beschreibt den Begriff des Risikos als Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele.

Der Begriff umfasst dabei folgende Aspekte:

- „die Kombination von Wahrscheinlichkeit und Auswirkung,
- die Auswirkungen können positiv oder negativ sein,
- die Unsicherheit bzw. Ungewissheit wird mit Wahrscheinlichkeiten geschätzt bzw. ermittelt,
- die Ziele der Organisation erstrecken sich auf die strategische Entwicklung (zB Kundenbedürfnisse, Innovation, Marktstellung). Die Tätigkeiten umfassen die operativen Aktivitäten (zB Beschaffung, Produktion und Dienstleistung sowie Vertrieb). Die Anforderungen beziehen sich insbesondere auf Gesetze, Normen sowie weitere externe oder interne regulatorische Vorgaben, auch betreffend die Sicherheit von Menschen, Sachen und der Umwelt, und
- Risiko ist eine Folge von Ereignissen (gemäß 2.1.6⁴²⁾) oder von Entwicklungen (gemäß 2.1.5⁴³⁾).“⁴⁴⁾

Somit können Wahrscheinlichkeiten sowohl geschätzt (subjektiv) als auch (objektiv) ermittelt werden und Risiken beziehen sich sowohl auf schlagende Ereignisse als auch auf schleichende Entwicklungen. Unsicherheiten, bei denen kausale Zusammenhänge und Hintergründe nur unvollständig bekannt bzw. nur ein Grad an persönlicher Überzeugung sind, werden als subjektive Wahrscheinlichkeiten bezeichnet. Der in der englischen ISO 31000 verwendete Begriff ‚likelihood‘ umfasst sowohl das objektive als auch das subjektive Verständnis von Wahrscheinlichkeiten.⁴⁵⁾

Weiters sieht die ONR sowohl eine positive als auch eine negative Auswirkung als Teil des Risikos. Positive Auswirkungen sind Gewinne, Vorteile und Nutzen – negative Auswirkungen sind Verluste, Nachteile und Schäden. Bedrohungen bzw. Chancen werden als Quelle von Risiken aufgefasst, die zu einer ungünstigen bzw. positiven Entwicklung führen können.⁴⁶⁾

Unsicherheit und Ungewissheit werden in der ONR 49000 als gleichwertige Begriffe erachtet, die das Fehlen von Informationen bezüglich des Eintritts zukünftiger Ereignisse oder Entwicklungen, ihrer Auswirkungen und ihrer Wahrscheinlichkeit beschreiben.⁴⁷⁾

⁴¹⁾ Vgl. Köhler (2012), Bild 33

⁴²⁾ Lt. ONR 49000:2014 ist ein Ereignis ein plötzlicher Eintritt einer bestimmten Kombination von Umständen (= schlagendes Ereignis).

⁴³⁾ Lt. ONR 49000:2014 ist eine Entwicklung eine allmähliche Veränderung von Umständen (= schleichende Entwicklung).

⁴⁴⁾ ONR 49000:2014, S. 7

⁴⁵⁾ Vgl. ebd., S. 9

⁴⁶⁾ Vgl. ebd., S. 5f.

⁴⁷⁾ Vgl. ebd., S. 9

Die ONR 49000 widerspricht also in wesentlichen Punkten der oft zitierten Definition von *Knight* (und den darauf aufbauenden Definitionen). Es sind demnach subjektive Wahrscheinlichkeiten zulässig – die bei *Knight* unter dem Begriff der Ungewissheit weiter ausdifferenziert werden – und es gelten nicht nur negative, sondern auch positive Konsequenzen als definitorischer Bestandteil von Risiko.

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Begriffsbestimmung in der Bauwirtschaft und dem Baubetrieb.

2.1.4 Verwendung in der Bauwirtschaft

Es stellt sich die Frage, ob die eng gefasste Risikodefinition nach *Knight*, die eine objektive und quantitative Messbarkeit von Unsicherheiten fordert, in der Bauwirtschaft und im Baubetrieb sinnvoll angewendet werden kann. *Knight's* Definition des Risikos – und alle darauf aufbauenden – sind sehr stark mit statistischen Betrachtungen verknüpft, für deren Aussagekraft eine entsprechend große Menge an historischen Daten zur Verfügung stehen muss. Bauprojekte sind jedoch Unikate – objektive (gemessene) Werte für ein exakt gleiches Projekt gibt es damit nicht. Dies würde bedeuten, dass im Zuge von Kalkulationen und Bauzeitermittlungen nie von ‚Risiken‘ die Rede sein dürfte, sondern immer nur von ‚Ungewissheiten‘, da solch ein geforderter Datenpool statistisch nicht greifbar ist. Vorhanden sind aber die Erfahrungen der beteiligten Personen, die aufgrund ähnlicher Projekte Ab- und Einschätzungen durchführen können (und müssen).⁴⁸⁾

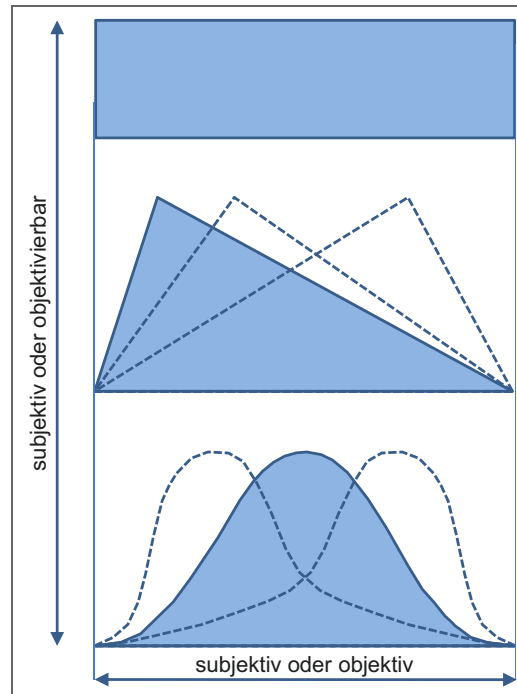


Abb. 2-6 Subjektive bzw. objektive Bandbreite – Subjektive bzw. objektivierbare Wahrscheinlichkeitsverteilung⁴⁹⁾

⁴⁸⁾ Vgl. Kummer (2015a), S. 26

Bandbreiten von unsicheren Parametern können entweder objektiv ermittelt oder subjektiv angesetzt werden (siehe Abb. 2-6). Die Wahrscheinlichkeit für jeden Wert innerhalb der definierten Bandbreite muss meist subjektiv durch die Wahl von Verteilungsfunktionen abgeschätzt werden. Objektivierbar wird die Wahl von Verteilungsfunktionen für Inputparameter wenn auf Basis vorhandener Daten, Nachkalkulationen, Ergebnissen aus Expertenbefragungen oder Kombinationen dieser Methoden die Form der entsprechenden Verteilung ermittelt wird. Die Anpassung an theoretische Verteilungsfunktionen (Fitting) erfolgt mit Hilfe von Softwareprogrammen.

In Abschnitt 7.1 wird näher auf die Wahl von Verteilungsfunktionen eingegangen.

Risiken sollten sich demnach nicht nur auf messbare Faktoren beschränken, da ein Risikomanagement, welches nur quantifizierbare Risiken berücksichtigt, zu einer reinen Rechenaufgabe verkommt. Es ist aber gerade der Sinn von Risikomanagementsystemen auch nicht quantifizierbare Risiken zu bewerten, da gerade diesen wegen ihrer Behaftung mit Unkenntnis das höchste Gefahrenpotenzial innewohnt.⁵⁰⁾

Wiggert untersuchte in seiner Dissertation deutschsprachige bauwirtschaftliche Risikodefinitionen mit Hilfe des angepassten semantischen Kastens (aSK). Er analysierte die Definitionen des Risikobegriffs zwischen 1971 (Dissertation von *Schubert*) und 2009 (Dissertation von *Riebeling*), wobei sich diese Diskussion in der Bauwirtschaft intensivierte (siehe Abb. 2-7). Insgesamt wurden 69 Quellen der wissenschaftlichen Literatur und 21 normative Regelwerke auf deren Risikodefinitionen hin durchleuchtet. Dabei wurde pro Autor nur eine Definition zugelassen, mit der Ausnahme von Autorengemeinschaften.⁵¹⁾

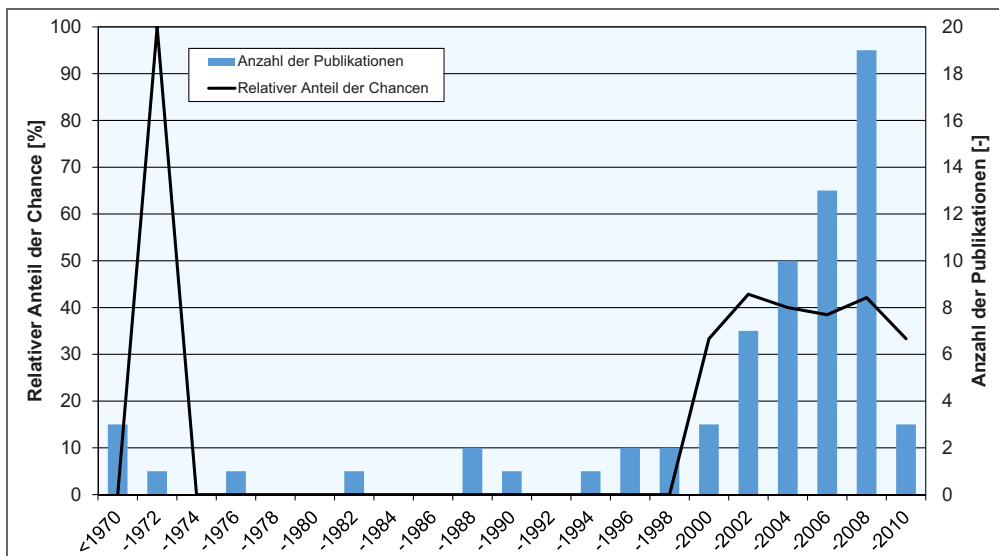


Abb. 2-7 Zeitliche Entwicklung der Anzahl an Risikodefinitionen und dem relativen Anteil der Chancen⁵²⁾

⁴⁹⁾ Kummer (2015a), S. 27

⁵⁰⁾ Vgl. Wiggert (2009), S. 112

⁵¹⁾ Vgl. ebd., S. 102ff.

⁵²⁾ ebd., S. 104

Den größten Einfluss auf die von *Wiggert* untersuchten Risikodefinitionen übt die Begriffserklärung von *Link* (1999) aus, da fünf nachfolgende Definitionen direkt darauf zurückgeführt werden können.⁵³⁾ Sie lautet wie folgt:

„Unter Risiko versteht man die Möglichkeit, daß die durch eine Entscheidung ausgelösten Abläufe nicht notwendigerweise zum angestrebten Ziel führen und es zu negativen oder positiven Zielabweichungen kommt. Risiko läßt sich durch die Bestimmung von Tragweite und Eintrittswahrscheinlichkeit quantifizieren.“⁵⁴⁾

Wiggert untersuchte explizit auch die Chancenintegration in den Risikoauffassungen, wobei er sich nicht auf die bloße Erwähnung der Begrifflichkeit fixierte, sondern das Gesamtkonzept der Risikodefinition beurteilte.⁵⁵⁾

Auffällig über den zeitlichen Verlauf der bauwirtschaftlichen/baubetrieblichen Risikodefinitionen ist, dass obwohl bereits *Schubert* 1971 einen Risikogewinn sah, erst mit der Definition von *Link* 1999 die ‚Chance‘ wieder im Risikobegriff der Bauwirtschaft auftaucht. Von da an hat sich die Integration des Chancenverständnisses in den Risikodefinitionen etabliert und schwankt um die 40 %, unabhängig von der Anzahl der Definitionen (siehe Abb. 2-7⁵⁶⁾).

Wiggert verglich die chancenorientierte Auffassung von Risiken anhand von Definitionen in der Bauwirtschaft mit jenen von aktuellen Normen aus dem baubetrieblichen Bereich sowie mit Definitionen aus der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre und dem finanzwirtschaftlichen Bereich. Dabei konnte festgestellt werden, dass in den bauwirtschaftlichen Definitionen ca. jede dritte, im finanzwirtschaftlichen Bereich jede fünfte und in der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre nur jede zehnte Definition eine Chance in den Risikobegriff integriert.

Interessant ist außerdem, dass der Anteil chancenorientierter Definitionen in der deutschsprachigen baubetrieblichen Normung mit ca. 60 % höher liegt als dies in der Literatur (ca. 40 %) der Fall ist. Anzumerken ist hierbei jedoch, dass die Grundgesamtheit der Risikodefinitionen in der Normung wesentlich geringer ist als in der wissenschaftlichen Literatur.

Grundsätzlich sind damit zwei Sichtweisen bei der Betrachtung des Begriffs ‚Risiko‘ zu unterscheiden (siehe Abb. 2-8). Es wird immer von positiven oder negativen Abweichungen eines geplanten Solls zu einem vorgefundenen Ist gesprochen. Einerseits bezeichnet ein ‚Risiko‘ lediglich die negativen Abweichungen, wobei die möglichen positiven Abweichungen ‚Chancen‘ genannt werden.

Andererseits wird unter ‚Risiko‘ sowohl die Möglichkeit einer positiven (‚Chance‘) als auch einer negativen Abweichung (‚Gefahr‘) verstanden. Hier impliziert das Risiko sowohl die Gefahr als auch die Chance.⁵⁷⁾

⁵³⁾ Vgl. *Wiggert* (2009), S. 105

⁵⁴⁾ *Link* (1999), S. 7

⁵⁵⁾ Vgl. *Wiggert* (2009), S. 107

⁵⁶⁾ Der Abfall der Risikodefinitionen in der letzten Klasse (‚2009 bis 2010‘) in Abb. 2-7 kann damit begründet werden, dass *Wiggert* seine Dissertation im September 2009 eingereicht hat und damit keine neuen Definitionen mehr in die Untersuchung aufgenommen wurden.

⁵⁷⁾ Dies entspricht der Definition von *Girmscheid/Motzko* (2013), S. 333: „Der Begriff ‚Risiko‘ bedeutet in Bauprojekten die Möglichkeit der Abweichung von konkreten Projektanforderungen in den Bereichen Kosten, Termine und Qualitäten, wobei potenzielle positive Abweichungen ‚Chance‘ und eventuelle negative Abweichungen ‚Gefahr‘ genannt werden.“

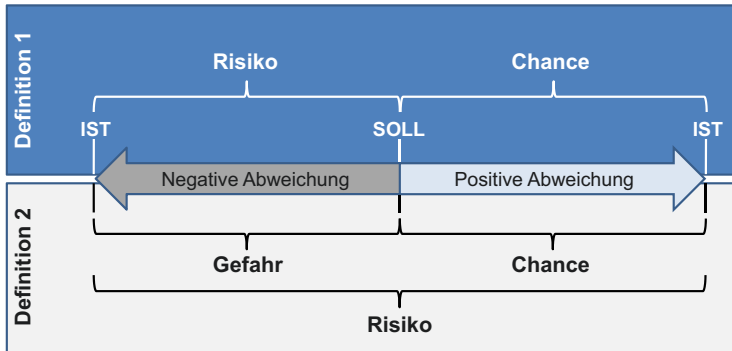


Abb. 2-8 Risikodefinitionen

Auch *Stempkowski/Waldauer* verwenden den Begriff des Risikos sowohl als Überbegriff, die Chance mitberücksichtigend, als auch als Spezifikation der negativen Auswirkung, wobei dann die Chance separat angeführt wird. Weiters geben sie an, dass der Risikobegriff im allgemeinen Sprachgebrauch als negative Abweichung verwendet wird und es für die Akzeptanz eines Managementsystems daher wenig zweckmäßig ist, künstlich neue Begriffe zu schaffen bzw. zu verwenden.⁵⁸⁾

Im Handwörterbuch der Bauwirtschaft wird unter dem Begriff ‚Partnering‘ in Risiken und Chancen als Begriffe auf gleicher Ebene unterschieden:

„[...] Die Partner formen ein Team mit einheitlichen Zielen, erwägen in einem sehr frühen Stadium alle Risiken und Chancen, behandeln und lösen Probleme möglichst sofort und werden oft auch am Projektnutzen beteiligt.“⁵⁹⁾

In einer Expertenbefragung – zwischen Juli und September 2013 an der TU Graz durchgeführt⁶⁰⁾ – wurde unter anderem auch nachgefragt, wie der Risikobegriff in der Praxis aufgefasst wird. Es wurden insgesamt 61 ausgewählte Experten kontaktiert, von denen 31 für eine Teilnahme gewonnen werden konnten. Die Experten wiesen zu ca. 74 % eine Berufserfahrung von über 11 Jahren auf. Ca. 42 % der Befragten waren in der Geschäftsführung bzw. Niederlassungsleitung tätig. Die Experten wurden konkret gefragt, wie gut die folgenden Definitionen für den bauwirtschaftlichen Risikobegriff zutreffen:

- ‚Risiko‘ beinhaltet die Möglichkeit einer positiven Zielabweichung (Chance)
- ‚Risiko‘ beinhaltet die Möglichkeit einer negativen Zielabweichung (Gefahr/Wagnis)
- Definition von *Wiggert*: „Risiko ist der Einfluss von Unsicherheiten auf die Performance⁶¹⁾, ausgehend von bewusst oder unbewusst gesetzten Zielen. Eine potentielle Steigerung der relativen Performance wird als Chance und eine potentielle Verminderung als Wagnis bezeichnet.“⁶²⁾

Die Experten konnten je Definition einen Schieberegler frei zwischen 0 % (= trifft nicht zu) und 100 % (= trifft völlig zu) positionieren. Die Ergebnisse sind in Klassen mit einem Wertebereich von jeweils 20 % zusammengefasst in Abb. 2-9 dargestellt. Eine kontroverse Auffassung zeigt sich bei der Beurteilung der Definition von *Wiggert*: Fast die

⁵⁸⁾ Vgl. *Stempkowski/Waldauer* (2013), S. 27

⁵⁹⁾ *Oberndorfer/Jodl et al.* (2001), S. 117

⁶⁰⁾ Vgl. *Alber* (2013)

⁶¹⁾ Unter Performance wird in diesem Zusammenhang ein Maß der Zielerreichung verstanden.

⁶²⁾ *Wiggert* (2009), S. 114

Hälfte (48 %) gibt an, diese als (sehr) zutreffend anzusehen, während ein knappes Drittel (28 %) der Befragten diese als kaum bis gar nicht zutreffend beschreibt. Ein recht klares Ergebnis zeigt sich jedoch darin, dass von den meisten Experten die Möglichkeit einer positiven Zielabweichung (Chance) aus der Risikodefinition exkludiert wird.

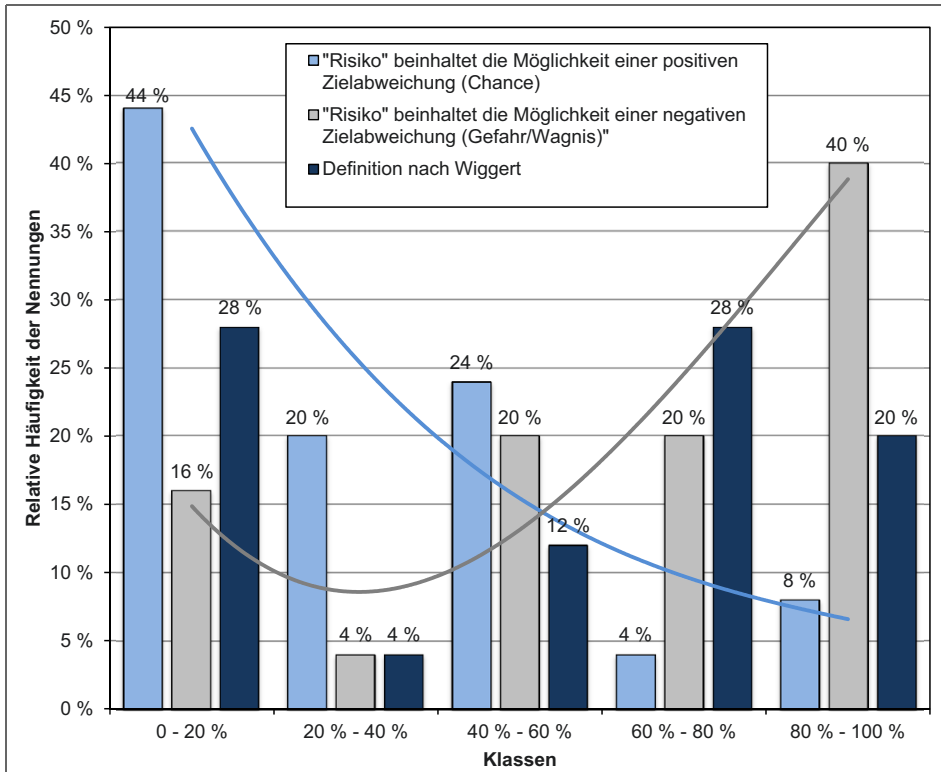


Abb. 2-9 Chance-Gefahr/Wagnis-Auffassung des Risikobegriffs⁶³⁾

Werden die quantitativen Antworten der Experten jeweils der Möglichkeit einer positiven (Chance) und einer negativen (Gefahr/Wagnis) Zielabweichung zugeordnet, zeigt sich, dass der Begriff ‚Risiko‘ zu 34 % ‚Chancen‘ und zu 66 % ‚Gefahren/Wagnisse‘ enthält (siehe Abb. 2-10).⁶⁴⁾

Demgemäß scheint es wenig sinnvoll, den Begriff Chance unter Risiko zu subsumieren, da Risiko in der Praxis eher mit Assoziationen zu negativen Auswirkungen behaftet ist.

⁶³⁾ Vgl. Alber (2013), S. 127

⁶⁴⁾ Es wurden dabei die mit Schieberegeln angegebenen Prozentwerte der Experten für den Gefahren- und Chancenanteil des Risikobegriffs gemittelt und auf eine Summe von 100 % normiert. Eine direkte Herleitung dieser Ergebnisse aus Abb. 2-9 ist nicht möglich.

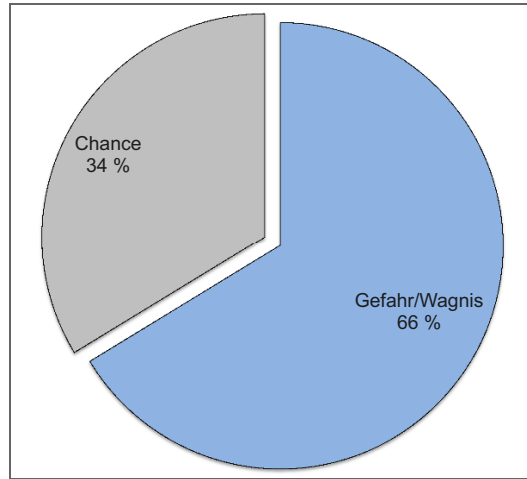


Abb. 2-10 Chance-Gefahr/Wagnis-Verteilung des Risikobegriffs⁶⁵⁾

2.1.5 Normung

Ein Vergleich der Begriffsdefinitionen in unterschiedlichen Normenwerken zeigt, dass auch innerhalb dieser keine einheitliche Definition des Risikobegriffs vorherrscht.

In der ÖNORM B 1801-1:2015 wird der Begriff des Risikos wie folgt definiert:

„Unwägbarkeiten und Unsicherheiten bei Planungen, Ermittlungen und Prognosen“⁶⁶⁾

Die ÖNORM ISO 31000:2010 definiert ein Risiko als „Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele“. Diese Definition enthält weiters noch 5 Anmerkungen:

„ANMERKUNG 1 Eine Auswirkung stellt eine Abweichung von Erwartungen dar – in positiver und/oder negativer Hinsicht.

ANMERKUNG 2 Die Ziele können verschiedene Aspekte umfassen (zB Finanzen, Gesundheit und Sicherheit sowie Umwelt) und auf verschiedenen Ebenen gelten (zB strategische, organisationsweite, projekt-, produkt- und prozessbezogene Ziele).

ANMERKUNG 3 Risiken werden häufig durch Bezugnahme auf potenzielle Ereignisse (2.17) und Auswirkungen (2.18) oder eine Kombination davon charakterisiert.

ANMERKUNG 4 Risiken werden häufig mittels der Auswirkungen eines Ereignisses (einschließlich von Entwicklungen) in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeit (2.19) seines Eintretens beschrieben.

ANMERKUNG 5 Unsicherheit ist der Zustand, der sich aus dem gänzlichen oder teilweisen Fehlen von Informationen, Verständnis oder Wissen über ein Ereignis, seine Auswirkung oder seine Wahrscheinlichkeit ergibt.“⁶⁷⁾

Die Definition des Risikobegriffs nach der ONR 49000:2014 wurde bereits unter Abschnitt 2.1.3 angeführt.

⁶⁵⁾ Vgl. Alber (2013), S. 128

⁶⁶⁾ ÖNORM B 1801-1:2015, S. 4

⁶⁷⁾ ÖNORM ISO 31000:2010, S. 6

In der ÖNORM S 2410:2010 wiederum wird eine klare Trennung zwischen Risiken und Chancen vorgenommen. Unter ‚Risiko‘ wird eine negative Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele und unter ‚Chance‘ eine positive Auswirkung von Unsicherheit auf Ziele verstanden. Wahrscheinlichkeiten werden dabei entweder ermittelt⁶⁸⁾ oder geschätzt.⁶⁹⁾

2.1.6 Verwendung der Begriffe Chance und Risiko in diesem Buch

Die Begriffe Risiko und Chance sind keineswegs eindeutig definiert, wie den angeführten Ansätzen und Kommentaren aus der Literatur zu entnehmen ist. Im Folgenden findet sich deshalb eine klare begriffliche Abgrenzung und Erläuterung der Bedeutung für die Verwendung dieser Begriffe im vorliegenden Buch.

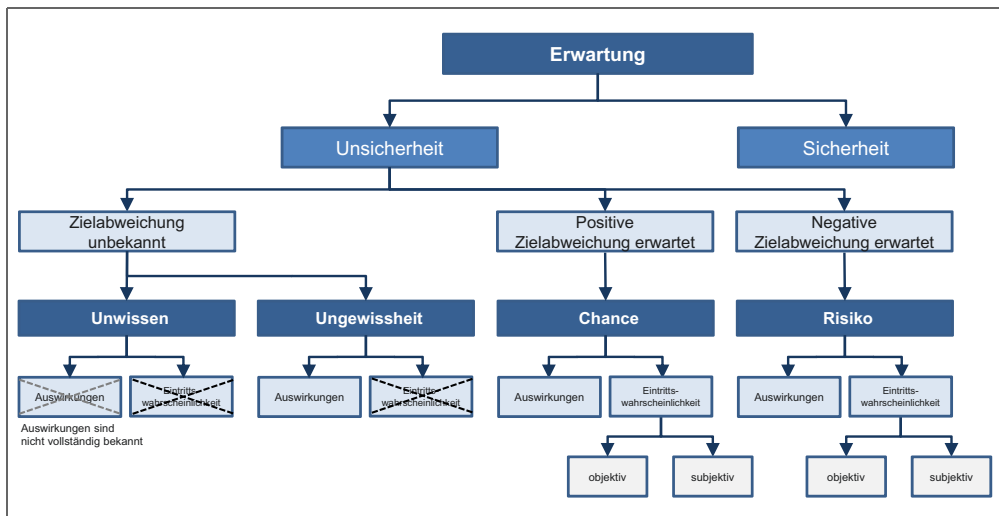


Abb. 2-11 Mögliche Erwartungsstruktur – Messbarkeit der Unsicherheit

In Abb. 2-11 erfolgt eine Differenzierung der möglichen Erwartungsstruktur in Unsicherheit und Sicherheit. Sicherheit liegt im Allgemeinen nicht vor, da dies einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 % entsprechen würde. Im Falle von Unsicherheit wird hinsichtlich der Ausprägung der Zielabweichung unterschieden. Ist mit negativen Zielabweichungen (Schaden) zu rechnen, spricht man in weiterer Folge von Risiko, wenn sowohl die Auswirkungen als auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten objektiv bekannt (wenn eine ausreichend große Datenbasis vorliegt) oder subjektiv aufgrund von Erfahrungen einschätzbar sind. Diese Auffassung widerspricht der Definition von *Knight*, ist aber angesichts der gegenwärtigen Verwendung des Begriffs Risiko in der Bauwirtschaft und aufgrund der problematischen Datenlage durchaus nachvollziehbar und schlüssig. Umgekehrt wird von Chancen gesprochen, wenn positive Zielabweichungen erwartet werden und die Auswirkungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten (objektiv oder subjektiv) ebenfalls bekannt sind. Risiko und Chance stellen damit horizontal gleichwertige Begriffe dar. Sind weder die Auswirkungen (zumindest nicht vollständig) noch die Eintrittswahr-

⁶⁸⁾ objektives, statistisches Verständnis – Erhebung der relativen Häufigkeit zukünftiger Ereignisse oder Entwicklungen – Vgl. ÖNORM S 2410:2010, S. 10 (Diese Norm wurde am 01.05.2015 zurückgezogen.)

⁶⁹⁾ Vgl. ebd., S. 5 und 9

scheinlichkeiten (z.B. die möglichen Zielabweichungen – positiv oder negativ) bekannt, liegt Unwissen vor. Von Ungewissheit wird dann gesprochen, wenn infolge einer unbekannten Zielabweichung zwar mögliche Auswirkungen bekannt sind, deren Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch nicht quantifiziert werden kann.

Zusätzlich ist noch die Kategorie der ‚unbekannten Unbekannten‘ zu erwähnen. Es handelt sich dabei um Ereignisse, deren Eintreten sowie die damit verbundenen Auswirkungen nicht vorhergesehen werden können. Solche ‚schwarzen Schwäne‘⁷⁰⁾ werden im Zuge dieser Arbeit nicht behandelt.

Begriffliche Verwendung in Alltagssituationen – Beispiel

Angenommen man fliegt zu einer Konferenz in einem anderen Land und hatte vor dem Abflug nicht mehr die Zeit, sich den aktuellen Wetterbericht der Region anzusehen. Es liegen also keinerlei Hinweise für die Eintrittswahrscheinlichkeit z.B. eines möglichen Regenereignisses vor. Die Auswirkungen sind aber durchaus bekannt (hat man keinen Schirm mit, wird man nass). In diesem Fall würde man unter Ungewissheit handeln. Unwissen würde z.B. bei vielen Europäern bei einem Hurrikan vorliegen, da hier die Auswirkungen nicht oder zumindest nicht vollständig bekannt wären, sofern nicht bereits entsprechende Erfahrungen mit einem solchen Ereignis gemacht wurden.

Hat man sich den Wetterbericht angesehen und wurde dabei die Wahrscheinlichkeit für Regen mit 70 % angegeben, hat man sowohl Informationen über die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch über die Auswirkungen. Hat man keinen Schirm mit, hat man das Risiko nass zu werden (und dieses Risiko ist mit 70 % recht hoch) und die Chance (mit 30 % eher gering) trockenen Fußes zur Konferenz zu kommen.

Begriffliche Verwendung im Tiefbau – Beispiel

Es soll ein Aushub für den Keller eines Gebäudes hergestellt werden. Liegt kein Bodengutachten vor und wurden keine Erkundungen durchgeführt, handelt man in der Regel unter Ungewissheit. Die Eintrittswahrscheinlichkeit, dass man z.B. auf schweren Fels trifft ist nicht bekannt, die Auswirkungen mit einem erhöhten Aufwand für das Lösen sind aber durchaus bekannt. Würde man im Zuge der Arbeiten auf die Überreste einer alten römischen Siedlung treffen (und es lagen keinerlei Anzeichen für einen solchen Fund vor; keine Aufzeichnungen über Römerbewegungen in diesem Gebiet), hat man unter Unwissen gehandelt, da weder die Eintrittswahrscheinlichkeit noch die Auswirkungen eines solchen Fundes vollständig bekannt sind.

Liegt ein Bodengutachten vor, in dem die Anteile der Bodenklassen angegeben werden, oder kann auf Erfahrungen bei angrenzenden Bauvorhaben zurückgegriffen werden, sind die Eintrittswahrscheinlichkeit (zumindest subjektiv) und auch die Auswirkungen einer Verschiebung der Anteile zwischen den Bodenklassen bekannt. Aufgrund des Bodengutachtens bzw. der Erfahrungen können die tatsächlichen Verhältnisse eingeschätzt und je nach erwarteter Zielabweichung die entsprechenden Chancen und Risiken beurteilt werden.

Zusammenfassung

Der Risikobegriff ist nicht eindeutig definiert und wird in unterschiedlichen Disziplinen (aber auch innerhalb von selben Disziplinen) abweichend aufgefasst und verwendet. Da eine globale Begriffsdefinition in naher Zukunft nicht absehbar ist, wurde der Risikobegriff und verwandte Termini für die Bauwirtschaft unter der Gesamtheit der Erwartung

⁷⁰⁾ Extrem unwahrscheinliche Ereignisse werden von Taleb als ‚schwarze Schwäne‘ („black Swans“) bezeichnet. Er spielt auf die Tatsache an, dass allgemein vermutet wurde, dass alle Schwäne weiß wären, bis in Australien auch schwarze Schwäne entdeckt wurden. Vgl. Taleb (2007), S. XVIIff.

eingeordnet und schematisch dargestellt. Zum Vorschein tritt, dass Chance und Risiko aufgrund ihrer unterschiedlichen Konnotationen begrifflich getrennt werden sollten: Während Risiken in der Praxis eher mit negativen Zielabweichungen assoziiert werden, bezieht sich die Chance auf eine positive Erwartungshaltung. Es handelt sich dabei also um horizontal gleichwertige Begriffe. Zudem ist anzumerken, dass auch bei einer subjektiven Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten (z.B. aufgrund schlechter Datenlage) die Verwendung des Begriffs Risiko als legitim gilt. Gerade in der Bauwirtschaft und auch bei baubetrieblichen Betrachtungen muss häufig auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Diese Einschätzungen fließen in weiterer Folge in Kalkulationen, Bauzeitermittlungen, Verfahrensentscheidungen etc. ein und werden somit integraler Bestandteil der baubetrieblichen, bauwirtschaftlichen und vertraglichen Abwicklung von Bauprojekten.

Für die vorliegende Arbeit werden die beiden Begriffe Risiko und Chance folgendermaßen definiert (siehe dazu auch Abb. 2-11):

Risiko ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer negativen Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit (objektiv oder auch subjektiv) bekannt sind.

Chance ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer positiven Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit (objektiv oder auch subjektiv) bekannt sind.

2.1.7 Bezugsbasis

Die Erwartung einer positiven oder negativen Zielabweichung hängt wesentlich von der Bezugsbasis ab (siehe Abb. 2-12). Je nachdem ob die Basis beispielsweise für einen Aufwandswert AW [Std/MEH] höher oder niedriger angesetzt wird, desto höher oder niedriger wird die Wahrscheinlichkeit sein, dass der tatsächliche Aufwandswert unter der gesetzten Basis liegt.

Liegt z.B. ein Histogramm des zu erwartenden Aufwandswerts für die Bewehrungsarbeiten vor, kann der Kalkulation der Median als Basis zugrunde gelegt werden (siehe Abb. 2-12 – oben). Damit ist die Wahrscheinlichkeit einer Unterschreitung sowie einer Überschreitung des gewählten Aufwandswerts gleich groß (50 %). Die Möglichkeit, dass ein Risiko in Form eines höheren Aufwandswerts schlagend wird, ist gleich groß wie die Chance einen niedrigeren Aufwandswert in der Ausführung zu generieren. Wird die Basis jedoch höher als der Median angenommen (siehe Abb. 2-12 – links unten), verschiebt sich das Verhältnis zwischen Chance und Risiko zugunsten einer positiven Zielabweichung. Die Chance einen niedrigeren Aufwandswert zu erzielen ist bei Weitem größer als das Risiko eines höheren Aufwandswerts. Umgekehrt wird das Risiko erhöht, wenn die Basis des Aufwandswerts niedriger als der Median angesetzt wird (siehe Abb. 2-12 – rechts unten). Die Chance, dass in der tatsächlichen Ausführung ein niedrigerer Aufwandswert als die ohnedies schon niedrig angesetzte Basis erzielt wird, ist entsprechend gering. In welchem Verhältnis Chancen und Risiken zueinander stehen, hängt von der Risikobereitschaft des Unternehmens sowie von strategischen Überlegungen ab. In der Praxis sind die AN den Risiken meist näher als den Chancen, da sie aufgrund der Konkurrenz die Basis eher niedrig ansetzen müssen.⁷¹⁾

⁷¹⁾ Vgl. Kummer/Hofstadler (2013), S. 180

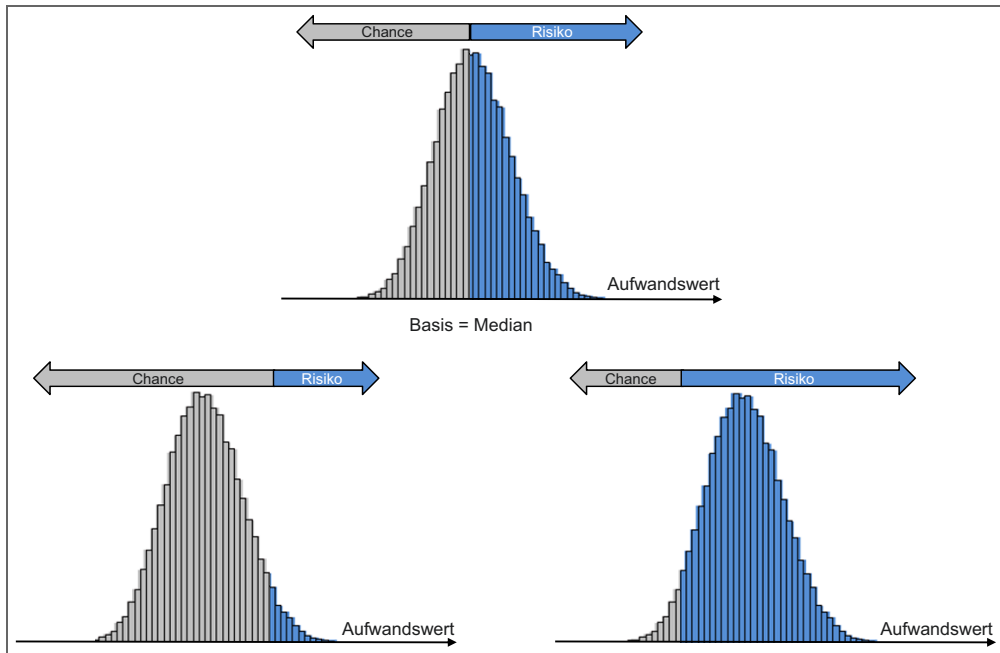


Abb. 2-12 Darstellung von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der gewählten Basis⁷²⁾

Diese Thematik hinsichtlich der Auswahl der Basis wurde bereits von *Schubert* aufgegriffen und anhand eines Beispiels für die Aushubleistungen veranschaulicht.⁷³⁾

Um das Verständnis des Risikos, welches von der jeweiligen Basis abhängt, auch auf andere Kenngrößen auszuweiten, dient Abb. 2-13. Auf der linken Seite sind Kennwerte aufgetragen, die im Idealfall einen ‚großen‘ Zahlenwert aufweisen (wie z.B. Leistung oder Produktivität). Umgekehrt ist rechts die Situation für jene Kennzahlen dargestellt, die bei ‚niedrigen‘ Zahlenwerten als günstig für den Verlauf eines Projekts erachtet werden. Dies können beispielsweise Kosten, Preise oder Aufwandswerte sein. Je niedriger solche Werte angesetzt werden, desto höher ist in der Regel auch das eingegangene Risiko eines Bieters bzw. Auftragnehmers.

Werden nur Idealwerte angesetzt, ist keine Chance mehr vorhanden und das bestmögliche Ergebnis bleibt eine Situation, bei der kein Gewinn und kein Verlust realisiert werden. Dies kann in keinem Fall im Interesse eines Unternehmens liegen, da es völlig dem Ertragsziel widerspricht.

⁷²⁾ Kummer/Hofstadler (2013), S. 180

⁷³⁾ Vgl. Schubert (1971), S. 10

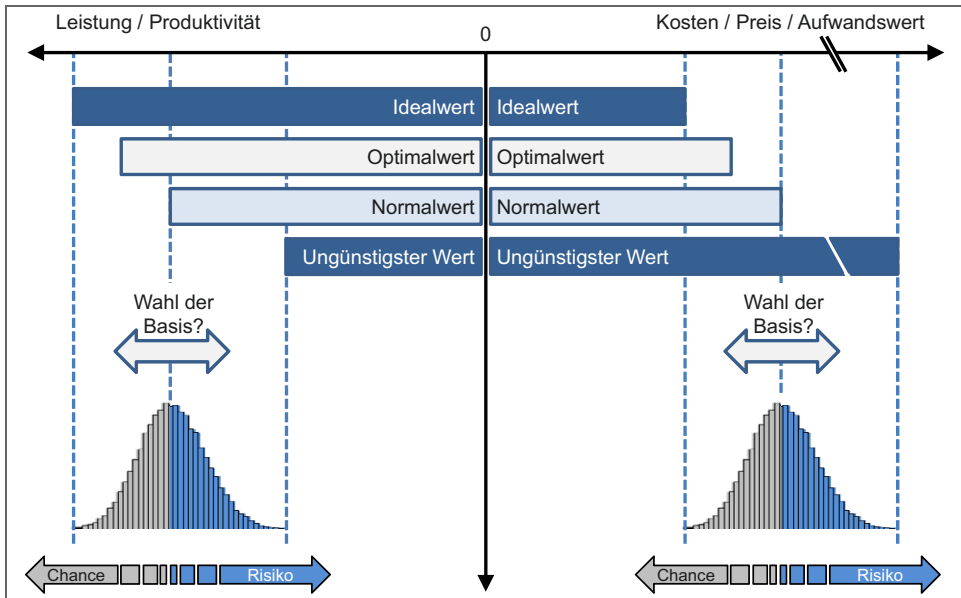


Abb. 2-13 Darstellung von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der gewählten Basis⁷⁴⁾

Auch für die Gewährung von Nachlässen oder den Ansatz von Zuschlägen ist es für den AN wesentlich, sein Kostenhistogramm zu kennen. Ein Nachlass von z.B. 10 % wirkt sich je nach Form des Histogramms unterschiedlich auf das Chancen-Risikoverhältnis aus. Bei Histogrammen mit einer sehr geringen Spannweite kann sich ein zu hoher Nachlass zu einem nicht mehr tragbaren Risiko entwickeln, da die Chance, die Leistung in der Ausführung noch günstiger herstellen zu können, rapide abnimmt. Bei Histogrammen mit geringer Spannweite haben demnach prozentuelle Nachlässe (bezogen auf den Preis) einen höheren Einfluss auf das Chancen-Risikoverhältnis als dies bei Verteilungen mit großer Spannweite der Fall ist. Ohne die Kenntnis der Verteilung kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob mit einem Nachlass das Risiko noch tragbar ist oder nicht bzw. ob das neue Chancen-Risikoverhältnis der Chancen-Risikopolitik des Unternehmens entspricht.

Wird ein Chancen-Risikoverhältnis vorgegeben, kann umgekehrt über eine Rückrechnung der maximal vertretbare Nachlass ermittelt werden. Möchte der AN beispielsweise für sein Angebot maximal eine Standardabweichung vom Mittelwert abrücken, kann der bis zu diesem spezifischen Chancen-Risikoverhältnis zulässige Nachlass erhoben werden.

2.1.8 Wagnis

Unter Wagnis wird die Gefahr eines Verlustes oder einer Fehlentscheidung verstanden. Das allgemeine Unternehmerwagnis ist beispielsweise bei jeder gewerblichen Tätigkeit vorhanden und wird bei der Kostenermittlung durch einen prozentuellen Aufschlag (Wagniszuschlag) auf die Kosten der Leistungserbringung aufgeschlagen. Es soll jene Kosten abdecken, die für den Bauunternehmer nicht vorhersehbar waren.⁷⁵⁾

⁷⁴⁾ In Anlehnung an Schubert (1971), S. 11

Zum Chancen-Risikoverhältnis in Bezug auf das Zielniveau vgl. Čadež (1998), S. 55f.

⁷⁵⁾ Vgl. Oberndorfer/Jodl et al. (2001), S. 49 und 154

Dies bedeutet, dass mit dem globalen Wagniszuschlag jene zusätzlichen Kosten abgedeckt werden sollen, die sich aus Ungewissheit und Unwissen ergeben (siehe Abb. 2-14). Dieser Zuschlag kann jedoch bei genauerer Betrachtung nur einen Teil dieser zusätzlichen, mit Unsicherheiten behafteten Kosten abdecken (strichlierte Darstellung in Abb. 2-14).

Je mehr Informationen über die Umstände der Leistungserbringung, das Umfeld, die geologischen Gegebenheiten, den Auftraggeber, die Stakeholder, die Subunternehmer, die eingesetzten Bauverfahren und Baustoffe vorherrschen, desto zutreffender wird der Wagniszuschlag ausfallen.

Zu differenzieren ist ebenfalls, ob der Wagniszuschlag nur lokal für ein einzelnes Projekt angesetzt wird oder global für ein Portfolio, welches sich aus Projekten mit unterschiedlichen Projektvolumina und Chancen-Risikoverhältnissen zusammensetzt.

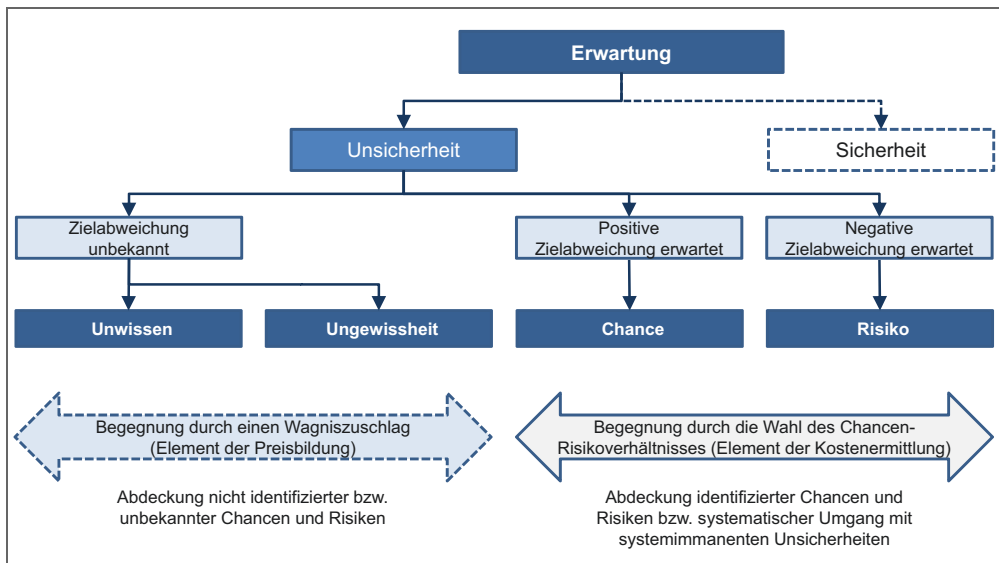


Abb. 2-14 Differenzierung zwischen globalem Wagniszuschlag und Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses

Dieser globale Wagniszuschlag ist von den kalkulatorischen Annahmen, die im Rahmen des systematischen Umgangs mit Unsicherheiten auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen (Projektebene, Teilprojekte, Leistungsbereiche, Positionen etc.) zu wählen sind, abzugrenzen. Bei diesen handelt es sich um identifizierte Chancen und/oder Risiken bzw. systemimmanente Unsicherheiten. Je genauer das Projekt bzw. die Leistungen beschrieben sind, desto genauer können die Bieter ihre Annahmen treffen. Trotzdem enthalten diese kalkulatorischen Ansätze Unsicherheiten, die mittels Bandbreitenbetrachtungen in den Berechnungen berücksichtigt werden. Erfolgt die systematische Berücksichtigung dieser Unsicherheiten, kann durch Angabe des Chancen-Risikoverhältnisses ein spezifischer Wert innerhalb der ermittelten Bandbreite (Entscheidungsbereich) gewählt werden. Die spezifischen Einflüsse aus dem Produktionssystem werden damit direkt und verursachungsgerecht berücksichtigt.

Indirekt beeinflusst die Wahl des Chancen-Risikoverhältnisses jedoch auch wiederum die Höhe des Wagniszuschlags. Wird ein günstiges Chancen-Risikoverhältnis (hohe Chancen und geringe Risiken – siehe Abb. 2-12 – links unten) gewählt, können nicht realisierte Risiken wiederum zur Abdeckung von zusätzlichen Kosten aus Ungewissheit und

Unwissen herangezogen werden. Überwiegt beim gewählten Chancen-Risikoverhältnis allerdings das Risiko (siehe Abb. 2-12 – rechts unten), sinkt das Potenzial, zusätzliche Kosten im Bereich des Wagnisses aufgrund von nicht eingetretenen Risiken abdecken zu können.

Der Wagniszuschlag ist als Element der Preisbildung aufzufassen während das Verhältnis von Chancen und Risiken der Kostenermittlung zuzuordnen ist.

2.2 Aussagen über die Zukunft

Je nach Untersuchungstiefe und Betrachtungshorizont (kurz-, mittel- oder langfristig) werden Aussagen über die Zukunft unterschiedlich bezeichnet und interpretiert. Eine Auflistung verschiedener – von der Zukunft handelnder – Begriffe sind in Abb. 2-15 gemeinsam mit einer demonstrativen Aufzählung entsprechender Kriterien sowie Beispielen dargestellt.

Bei Aussagen die die Zukunft betreffen wird zunächst in kurz- und mittelfristige sowie in langfristige Betrachtungshorizonte unterschieden. Bei Prophezeiungen, Utopien und Visionen handelt es sich um langfristige Aussagen, deren Inhalte von Subjektivität geprägt sind und unterschiedliche Reaktionen bei den Empfängern der Aussagen auslösen sollen. Der Terminus der ‚Prophezeiung‘ erinnert stark an antike Orakel, die ein zukünftiges Ereignis voraussagten, welches durch gegenwärtige Tätigkeiten nicht beeinflussbar ist.

Trendaussagen, Prognosen und Planungen sind den kurz- und mittelfristigen Aussagen über die Zukunft zuzuordnen. Sie beziehen Entwicklungen und/oder Entscheidungen der Vergangenheit ein und enthalten generell weniger subjektive Elemente als die vorgenannten langfristigen Aussagen. Prognosen stützen ihren Vorhersagegehalt auf gegenwärtige und historische Daten. Prognosen sind keine Planung – dass in der Ausführungsplanung von schönem Wetter ausgegangen wird, verhindert noch nicht, dass es regnet. Eine aktive Gestaltung der Daten bzw. des zukünftigen Handelns ist durch eine Prognose nicht möglich. Allerdings stellt die Prognose ein Werkzeug für die Kosten- und Terminplanung dar – die äußeren Projektumstände können damit naturgemäß nicht beeinflusst bzw. verändert werden. Die Kostenplanung bildet z.B. eine gedankliche Vorbereitung zukünftiger Handlungen, bei der mit steigender Projektdauer eine erhöhte Kostensicherheit bei gleichzeitig vermindertem Handlungsspielraum angegeben werden kann.⁷⁶⁾

Auf die Ergebnisse bzw. Interpretation einer Prognose kann aber planerisch reagiert werden. Um beim Beispiel mit dem Regen zu bleiben: Wird ein Regenschauer prognostiziert, kann durch die Mitnahme eines Schirms darauf reagiert werden. Durch das Setzen von Maßnahmen ist nicht mehr unausweichlich, dass man nass wird. Prognosen dienen dazu, mögliche Risiken sowie potenzielle Chancen zukünftiger Ereignisse und Abläufe so früh wie möglich zu erkennen, um darauf reagieren zu können.⁷⁷⁾

⁷⁶⁾ Vgl. Lechner (2010), S. 13

⁷⁷⁾ Vgl. Kummer (2015a), S. 66

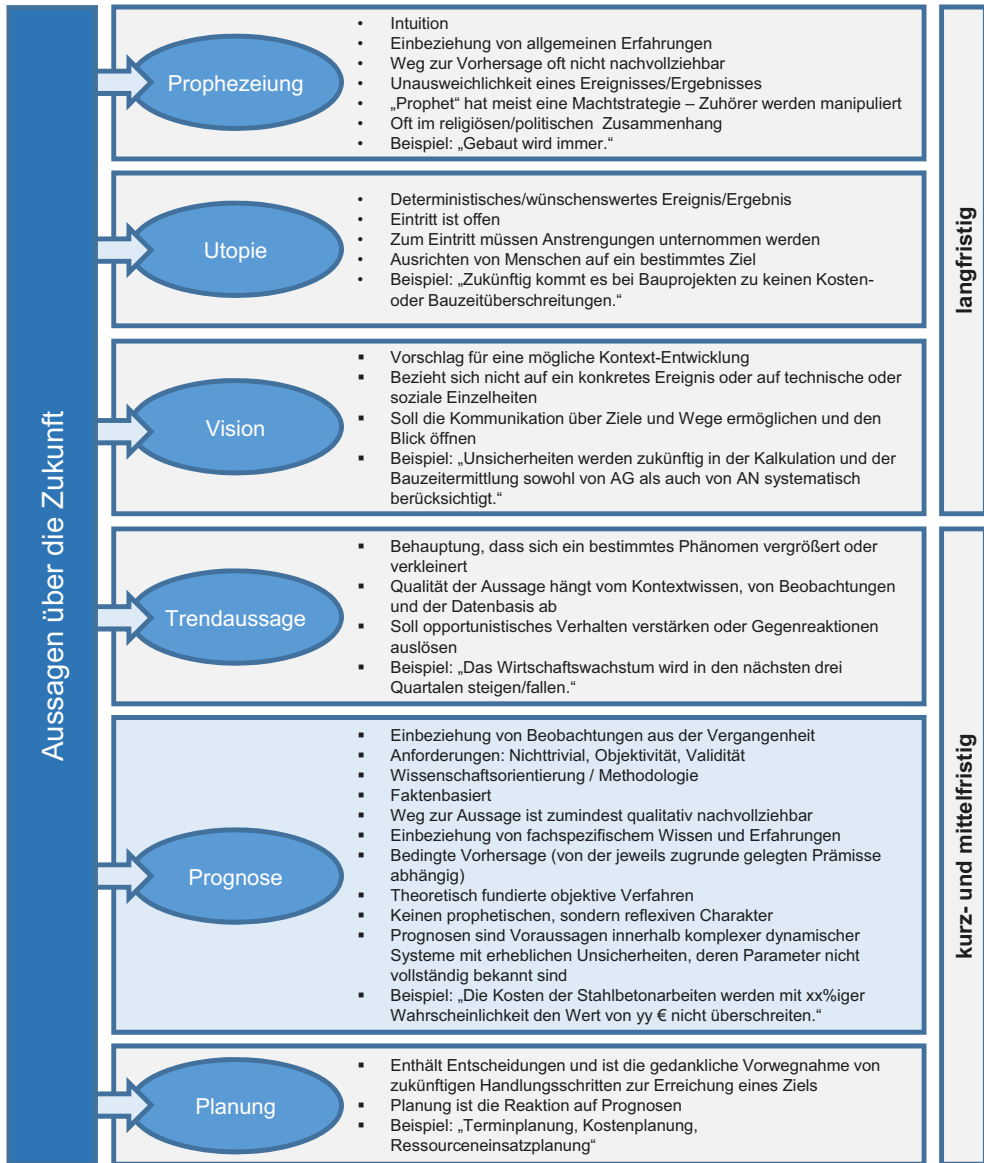


Abb. 2-15 Differenzierung zwischen verschiedenen Stufen und Arten von Aussagen über die Zukunft⁷⁸⁾

Unsicherheiten bei der Prognose von zukünftigen Ereignissen sind systemimmanent und werden in bestimmten Bereichen auch direkt als Information mitgeliefert. Bei Wettervorhersagen wird beispielsweise versucht, anhand von mathematischen Modellen ein hochgradig komplexes und dynamisches System (Wetter) zu beschreiben und Aussagen über zukünftige Ereignisse zu treffen. Bei Prognosen für Hurrikans wird von den Meteorologen ein ‚Chaoskegel‘ (‚Cone of Uncertainty‘) angegeben, der den möglichen Bereich

⁷⁸⁾ In Anlehnung an Horx Zukunftsinstitut GmbH (2010) und <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4546/prognose-v11.html>. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

auf einer Landkarte angibt, in dem ein Hurrikan auf die Küste treffen könnte. Abb. 2-16 zeigt schematisch einen solchen Chaoskegel für den Hurrikan ‚Katrina‘ vom 26. August 2005 um 17:00 Uhr. In der Mitte des strichliert angedeuteten Kegels ist jeweils die Position des Zentrums des Hurrikans eingezeichnet. Je weiter die Vorhersage in die Zukunft reicht, desto größer wird auch die Streuung der möglichen Orte, an denen der Sturm auf die Küste treffen kann.

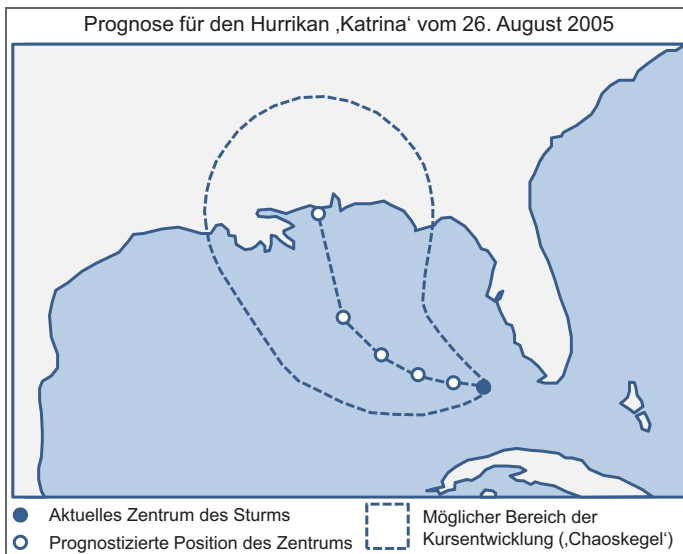


Abb. 2-16 Prognose des Chaoskegels für den Hurrikan ‚Katrina‘ (26. August 2005; 17:00 Uhr) – mögliche Position des Hurrikanenzentrums für die nächsten drei Tage⁷⁹⁾

Auch für Temperaturvorhersagen über einen Zeitraum von mehreren Tagen ist es mittlerweile üblich, die Bandbreiten der möglichen Temperaturentwicklungen darzustellen und als zusätzliche Information auch grafisch abzubilden.

In Abb. 2-17 ist beispielhaft der 15-Tage-Trend vom 12. Juni 2015 (9:00 Uhr) dargestellt. Auf der Abszisse sind die 15 Tage, für die die Prognose erstellt wurde (12. Juli bis 26. Juli), und auf der Ordinate ist die Temperatur in Grad Celsius aufgetragen. Die Prognose wurde für Wien/Hohe Warte erstellt. Die dunkle Linie im oberen Bildrand (zwischen 30 und 35 °C) und die helle Linie im unteren Bildrand (unter 20 °C) stellen die höchste bzw. tiefste gemessene Temperatur am entsprechenden Tag der letzten 30 Jahre dar. Die nahezu horizontale Trennung des Diagramms in zwei Flächen (etwa bei 26,5 °C) stellt den Mittelwert der gemessenen Temperaturen aus den vergangenen 30 Jahren dar. Weiters ist zu erkennen, dass die Prognose, je weiter sie in die Zukunft reicht, immer größere Streuungen aufweist (angedeutet durch einen ‚Temperaturtrichter‘). Für die Prognoseerstellung werden mehrere Modellläufe (Iterationen) durchgeführt. Der Mittelwert aus diesen Simulationsläufen ist als schwarze Linie in Abb. 2-17 eingetragen. Die obere und untere Grenze des eingezeichneten Unsicherheitsbereichs werden durch das 5 %- und das 95 %-Quantil aus den Simulationsläufen gebildet. Das bedeutet z.B., dass am 26. Juli die Temperatur mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit zwischen ca. 22 und 36 °C liegen wird. Es besteht außerdem eine mehr als 5 %ige Wahrscheinlichkeit, dass die Temperatur am 26. Juli über dem

⁷⁹⁾ Vgl. National Hurricane Center (Internetquelle: http://www.nhc.noaa.gov/archive/2005/KATRINA_graphics.shtml. Datum des Zugriffs: 12.11.2016)

Maximum der letzten 30 Jahre liegt. Für 18. Juli liegt auch der Mittelwert der Simulationsergebnisse deutlich über dem Maximum der letzten 30 Jahre. Auch die Bandbreite dieser Aussage ist aufgrund des kürzeren Prognosehorizonts (sieben Tage) geringer als für die nachfolgenden Tage.⁸⁰⁾

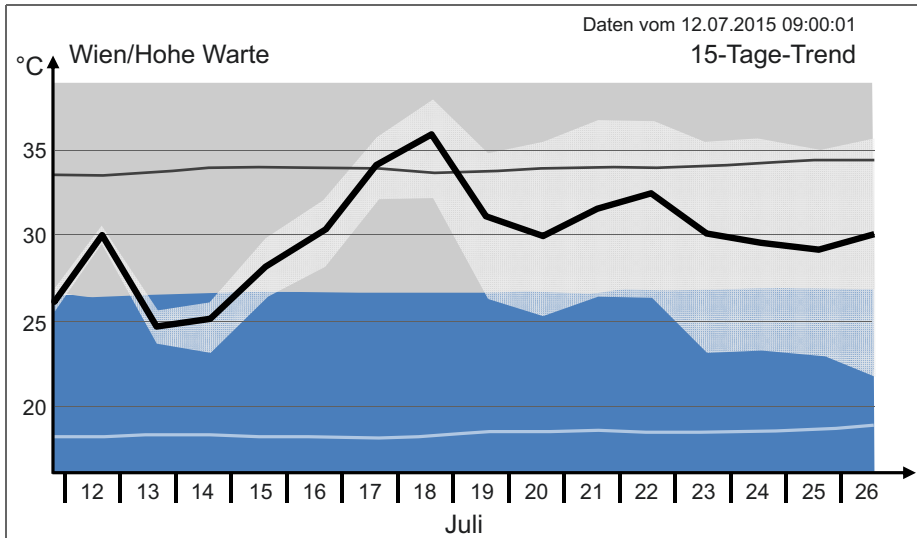


Abb. 2-17 15-Tage-Trend für die Tagestemperatur⁸¹⁾

Wie für Wettervorhersagen sollte es auch in der Bauwirtschaft das Ziel sein, Aussagen über zukünftige Entwicklungen eines Systems unter Berücksichtigung von Unsicherheiten zu treffen. Auch hier gilt, je weiter die Ereignisse in der Zukunft liegen (Prognosehorizont) bzw. je früher Entscheidungen über unsichere Umstände getroffen werden müssen, desto größer wird die Spannweite möglicher Ergebnisse sein. Dies liegt in der Natur von Systemen, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Hier deterministische Berechnungen durchzuführen täuscht eine nicht vorhandene Genauigkeit vor, die es in frühen Projektphasen und auch noch während der Ausführung in der Regel gar nicht geben kann.

Kosten- und Bauzeitprognosen bzw. -berechnungen und die dafür zugrunde liegenden Modelle bilden lediglich eine Approximation der Wirklichkeit, bei der die Ergebnisse nur so gut sein können, wie die getroffenen Annahmen und die verwendeten Grunddaten. Das Modell selbst besitzt keine Intelligenz, es bedarf daher in jedem Fall der kritischen Beurteilung und Validierung durch Spezialisten.⁸²⁾

Zukunftsrechnungen bzw. Kalkulationen sind dadurch geprägt, dass sie zukünftige Ereignisse kostenmäßig vorhersagen sollen. Damit sind sie geprägt von Unsicherheiten sowie von unvorhergesehenen und unvorhersehbaren Ereignissen. Es sind damit immer gewisse Abweichungen von den Kalkulationen zu erwarten, auch bei noch so genauer Planung.

Sollen Informationen aus abgeschlossenen Projekten gewonnen werden, ist eine sogenannte Wissensarbeit erforderlich und eine entsprechende Dokumentation durchzuführen. Wird dies nicht berücksichtigt, werden die Unsicherheiten für die Kalkulation

⁸⁰⁾ Vgl. Wadsak (2016) – Antwort auf eine persönliche Anfrage vom 31.03.2016

⁸¹⁾ Vgl. <http://scoop.me/hashtags/orf>. Datum des Zugriffs: 31.08.2016

⁸²⁾ Vgl. Scherer (2010), S. 23

zukünftiger Projekte nicht verringert und die Zukunftsrechnung wird mit Werten durchgeführt die ‚schon immer so angesetzt wurden‘. Wie soll aber eine Aussage über das ‚Morgen‘ getroffen werden, wenn nicht einmal bekannt ist was ‚gestern‘ passiert ist?

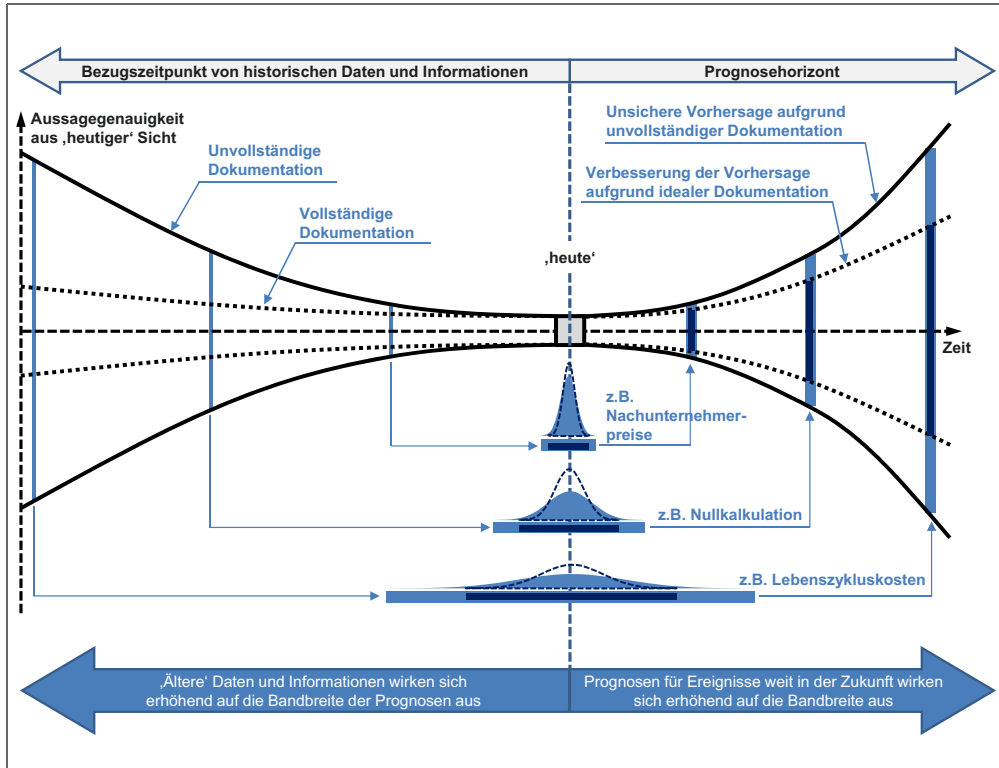


Abb. 2-18 Prognosen auf Basis von vollständiger und unvollständiger Dokumentation in Abhängigkeit der Bezugszeitpunkte der Daten und Informationen sowie der Prognosehorizonte

Eine Verbesserung zukünftiger Aussagen auf Basis von abgeschlossenen Projekten ist durch eine systematische Dokumentation und Nachbetrachtung möglich. Für die Kalkulation können dadurch Bandbreiten eingengt oder zumindest besser abgeschätzt werden – ein gewisser Grad an Unsicherheiten bleibt jedoch immer bestehen.

Blecken gibt dazu an, dass die Annahme eines deterministischen Produktionsgeschehens das Produktionsmodell zu sehr vereinfacht und die Prognosequalität eines deterministischen Modells nur bedingt gültig ist.⁸³⁾

Je älter die vorhandenen Daten und Informationen sind und je unvollständiger die Dokumentation durchgeführt wurde, desto mehr erhöhen sich die Bandbreiten der Prognose. Ebenso vergrößert sich die Bandbreite von Prognosen, wenn der Prognosehorizont sehr weit in der Zukunft liegt (siehe Abb. 2-18).

⁸³⁾ Vgl. Blecken (1976), S. 208

2.3 Wesentliche Teilbereiche der Mathematik

Modernes Chancen- und Risikomanagement bedient sich der Methoden, Theorien und Lösungsansätze unterschiedlicher Teilbereiche der Mathematik. Auf jene Bereiche, die für das Verständnis der praktischen Anwendung erforderlich sind, wird in weiterer Folge detaillierter eingegangen. Abb. 2-19 gibt einen Überblick der vorgestellten Teilbereiche.

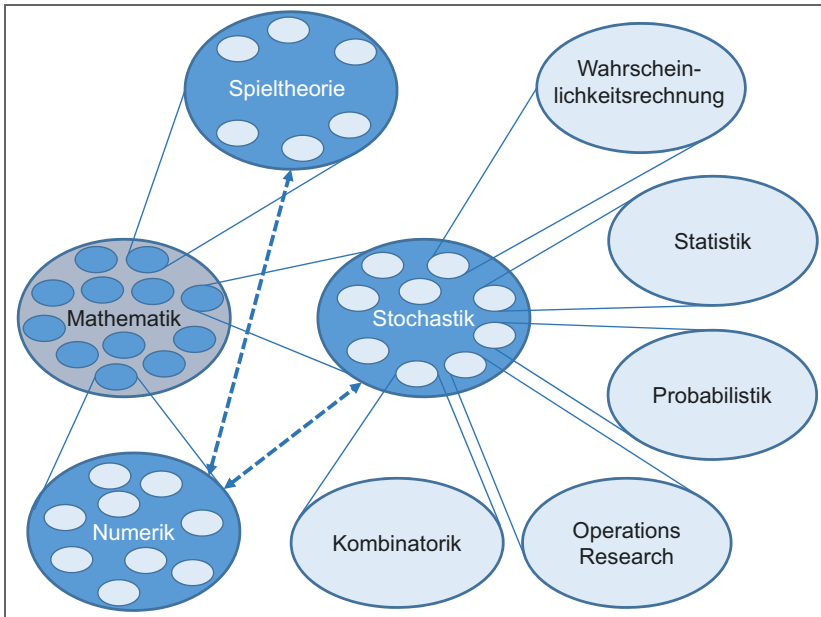


Abb. 2-19 Wesentliche Teilbereiche der Mathematik⁸⁴⁾

2.3.1 Stochastik

Die Stochastik ist die Lehre der Wahrscheinlichkeitstheorie.⁸⁵⁾ Die Wahrscheinlichkeitstheorie ist ein Teilbereich der Mathematik (siehe Abb. 2-19), der sich mit den formalen Eigenschaften von Wahrscheinlichkeitsmaßen, Wahrscheinlichkeitsräumen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen befasst.⁸⁶⁾ Sie kann auch als ‚Mathematik des Zufalls‘ beschrieben werden.⁸⁷⁾

2.3.1.1 Wahrscheinlichkeitsrechnung

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ist ein Teilgebiet der Stochastik das sich mit der Formalisierung und Modellierung von zufallsbedingten Vorgängen beschäftigt. Für die Definition der Wahrscheinlichkeit gibt es nachfolgende Ansätze.⁸⁸⁾

⁸⁴⁾ Vgl. Kummer (2015a), S. 113

⁸⁵⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 174

⁸⁶⁾ Vgl. ebd., S. 196

⁸⁷⁾ Vgl. Henze (2012), S. 1

⁸⁸⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 193ff.

Wahrscheinlichkeit nach *Laplace*

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses ist die Anzahl der günstigen Fälle dividiert durch die Anzahl aller möglichen Fälle. Diese Definition ist nur für endliche Verteilungen anwendbar, da die Wahrscheinlichkeit für unendliche Trägermengen zu einem nicht definierten Ausdruck führt. Die Wahrscheinlichkeit nach *Laplace* ist ein Sonderfall des Kolmogoroff'schen Axiomensystems. Zufall nach *Laplace* ergibt sich aus Mangel an Wissen bzw. aus Informationsmangel.⁸⁹⁾

Wahrscheinlichkeit nach *Kolmogoroff*

Kolmogoroff definierte die folgenden Axiome:

1. Die Wahrscheinlichkeit ist nicht negativ.
2. Die Wahrscheinlichkeit ist additiv. Schließen sich zwei Ereignisse gegenseitig aus, ist die Wahrscheinlichkeit, dass entweder das eine oder das andere Ereignis eintritt gleich der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten.
3. Die Wahrscheinlichkeit ist normiert. D.h. die Summe der Wahrscheinlichkeit möglicher Ereignisse ist 1.

Statistische Definition der Wahrscheinlichkeit

Diese Definition greift auf die relative Häufigkeit zurück, die man beobachtet, wenn man ein sich wiederholendes Zufallsexperiment (z.B. Münzwurf) stochastisch unabhängig durchführt. Die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis ist damit der Grenzwert (Limes) der relativen Häufigkeit für eine unendliche Wiederholung des Zufallsexperiments. Die statistische Definition der Wahrscheinlichkeit ist ebenfalls ein Sonderfall des Kolmogoroff'schen Axiomensystems.

2.3.1.2 Statistik

„Statistik ist die Wissenschaft, die Regeln und Verfahren für die Erhebung, Beschreibung, Analyse und Interpretation von numerischen Daten entwickelt.“⁹⁰⁾

Es wird dabei versucht, auf Basis einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen (im Falle der schließenden Statistik).

Die Statistik wird unterteilt in:

- Beschreibende Statistik⁹¹⁾
- Schließende Statistik⁹²⁾
- Univariate Statistik
- Multivariate Statistik

Die beschreibende Statistik hat zum Ziel, eine bestimmte Gruppe (Stichprobe) auf ihre Merkmale hin zu beschreiben und zu analysieren, ohne Schlüsse auf eine andere Gruppe oder auf die Grundgesamtheit zu ziehen. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse werden diese oft in Grafiken oder Diagramme überführt.⁹³⁾

⁸⁹⁾ In diesem Zusammenhang ist vom Laplace'schen Dämon die rede. Es handelt sich dabei nach einer These von *Laplace* um eine Intelligenz, die den Bewegungszustand jedes einzelnen Atoms und Moleküls zu jedem Zeitpunkt kennt und dadurch in der Lage ist, die Auswirkungen der Wechselwirkungen und in weiterer Folge die Zukunft deterministisch zu berechnen.

⁹⁰⁾ Czado/Schmidt (2011), S. 1

⁹¹⁾ Auch deskriptive oder deduktive Statistik genannt.

⁹²⁾ Auch induktive Statistik genannt.

⁹³⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 22

Bei der schließenden Statistik wird versucht aufgrund von Informationen aus einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen.⁹⁴⁾

Die univariate Statistik beschäftigt sich lediglich mit eindimensionalen Zufallsvariablen. Es gibt also nur ein Merkmal pro statistischer Einheit (z.B. die Größe von befragten Personen).⁹⁵⁾

Im Rahmen der multivariaten Statistik wird untersucht, ob verschiedene Merkmale der untersuchten statistischen Einheiten miteinander in Beziehung stehen (korrelieren) oder ob sie voneinander unabhängig sind (z.B. die Größe und das Körpergewicht von befragten Personen).⁹⁶⁾

2.3.1.3 Probabilistik/Probabilismus

Unter dem Einfluss der Naturwissenschaften entstand in der Philosophie des 17. Jh. die Vorstellung, dass alles, was in der Welt geschieht, auch menschliche Handlungen, durch unabänderliche Naturgesetze bestimmt ist.⁹⁷⁾

Beim Determinismus (von lat. *determino*: abgrenzen, bestimmen, festlegen) der Philosophie handelt es sich um „die Lehre von der eindeutigen Bestimmtheit allen Geschehens durch Ursachen, aller späteren Ereignisse durch frühere.“⁹⁸⁾

„Die Newtonschen Gesetze sind deterministisch. Wenn für ein beliebiges System von Körpern alle Zustandsgrößen im Zeitpunkt t_1 bekannt sind, so lassen sich mittels der mechanischen Gesetze alle Zustandsgrößen in einem beliebigen früheren oder späteren Zeitpunkt t_2 berechnen. Daß die Zustandsgrößen niemals vollständig und absolut genau bekannt sein können, wurde lange Zeit als bloße menschliche Unzulänglichkeit bezeichnet. Durch Fortschritt der Meßtechnik hoffte man, die Zustandsgrößen immer genauer bestimmen zu können. Man nahm an, es bestehe eine Konvergenz der Meßresultate, die auf eine immer genauere Erfassung der an-sich-seienden Werte hinweise [...]. Von der Voraussetzung her, daß alle Naturgesetze mechanischer Art seien und die Welt eine große ‚Weltmaschine‘ darstelle [...], ergab sich der Gedanke einer vollständigen Determiniertheit der Welt. Laplace hat dies durch die Vorstellung einer übermenschlichen Intelligenz⁹⁹⁾ illustriert: ‚Ein Geist, der für einen Augenblick alle Kräfte kennen würde, welche die Natur beleben, und die gegenseitige Lage aller Wesenheiten, aus denen die Welt besteht, müßte, wenn er umfassend genug wäre, um alle diese Daten der mathematischen Analyse unterwerfen zu können, in derselben Formel die Bewegung der größten Himmelskörper und der leichtesten Atome begreifen, nichts wäre ungewiß für ihn, und Zukunft und Vergangenheit läge seinen Augen offen da‘.“¹⁰⁰⁾

Bei deterministischen Berechnungen geht man davon aus, dass Ereignisse in der Zukunft eindeutig bestimmt werden können. Unsicherheiten in den Parametern oder im Berechnungsmodell werden nicht berücksichtigt. D.h., dass in die Berechnungen nur deterministische Zahlenwerte einfließen. Wären Systeme in der Natur tatsächlich deterministisch, müssten Ergebnisse mit 100 %iger Wahrscheinlichkeit (also mit Sicherheit) eintreten. Für komplexe Systeme mit zahlreichen Abhängigkeiten – wie die Errichtung eines Bauwerks unter sich

⁹⁴⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 83

⁹⁵⁾ Vgl. ebd., S. 185

⁹⁶⁾ Vgl. ebd., S. 126f.

⁹⁷⁾ Vgl. Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 2 (1972), S. 150

⁹⁸⁾ Brockhaus GmbH (1999b), S. 195

⁹⁹⁾ auch als ‚Laplace’scher Dämon‘ bezeichnet

¹⁰⁰⁾ Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 2 (1972), S. 155

ändernden Randbedingungen (z.B. Wetter) mit vielen Beteiligten – kann davon ausgegangen werden, dass der Eintritt einer deterministischen Vorhersage einen theoretischen Sonderfall darstellt. Die Erkenntnis, dass Ereignisse nicht mit absoluter Sicherheit vorhergesagt bzw. berechnet werden können, führte zum Probabilismus bzw. zur mathematischen Probabilistik.

In der Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie beschreibt der Probabilismus (von lat. probabilis: annehmbar, wahrscheinlich, glaubhaft¹⁰¹⁾) „die Auffassung, dass es keine absolut wahren, sondern nur wahrscheinliche Sätze gibt. – In quantenphysikal. Theorien drückt der P. aus, dass gewisse Ereignisse nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorher-sagbar sind.“¹⁰²⁾

„Mit dem Adjektiv ‚probabilistisch‘ bezeichnet man [...] empirische Theorien, die sich wahrscheinlichkeitstheoretischer Konzepte oder statistischer Methoden bedienen. Der probabilistische Charakter einer wissenschaftlichen Theorie kann dabei einerseits mit dem Grad der Glaubwürdigkeit einer subjektiven Überzeugung im Hinblick auf eine vorliegende Datenmenge zusammenhängen, andererseits aber auch mit objektiven Eigenschaften der zu erklärenden Gegenstände oder Prozesse selbst. Probabilistisches Denken hat sich im 19. und frühen 20. Jh. in den Sozial- und Naturwissenschaften auf unterschiedliche Weise stark verbreitet und führte zu grundlegenden Zweifeln am Laplaceschen Determinismus [...]. Dieser Prozeß wird [...] als ‚probabilistische Revolution‘ bezeichnet.“¹⁰³⁾

Voigt¹⁰⁴⁾ sieht die Probabilistik als Teilgebiet der Stochastik auf gleicher Ebene wie die Statistik und die Kombinatorik (siehe Abb. 2-20).

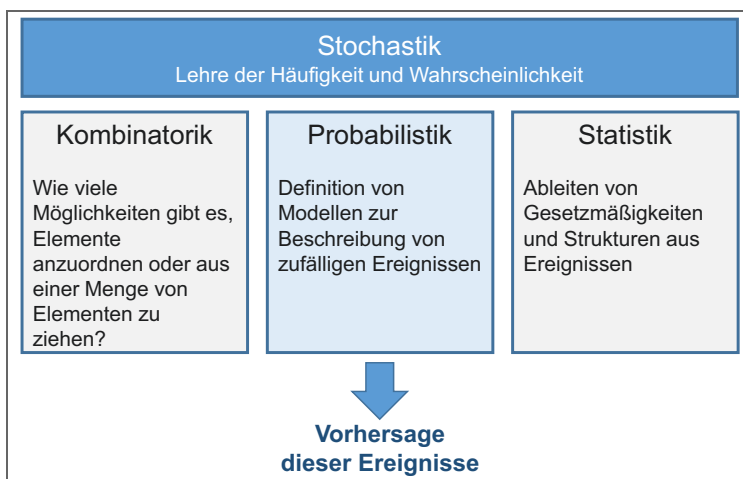


Abb. 2-20 Begriffsdefinition – Stochastik, Kombinatorik, Probabilistik und Statistik¹⁰⁵⁾

Bei probabilistischen Systemen ist es demnach nicht möglich ein zukünftiges Ereignis eindeutig vorherzusagen. Es kann nur eine Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis (z.B. die Kosten für Stahlbetonarbeiten) angegeben werden.

¹⁰¹⁾ Vgl. Stowasser et al. (1998), S. 404

¹⁰²⁾ Brockhaus GmbH (1999c), S. 196

¹⁰³⁾ Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 7 (1989), S. 1389

¹⁰⁴⁾ Vgl. Voigt (2008), Folie 3

¹⁰⁵⁾ Vgl. ebd., Folie 3

Für die Verwendung der Begriffe wird empfohlen, zufällige natürliche Ereignisse oder Prozesse als stochastisch und die mathematische Analyse solcher Prozesse und deren Auswirkungen als probabilistisch zu bezeichnen.¹⁰⁶⁾

2.3.1.4 Operations Research

Unter Operations Research (OR) wird allgemein die Entwicklung und der Einsatz quantitativer Modelle und Methoden zur Entscheidungsunterstützung in Unternehmen und Organisationen verstanden. Typische Werkzeuge des OR sind Optimierungen und Simulationen.¹⁰⁷⁾

Der mit dem Operations Research oft in Verbindung stehende Begriff ‚Management Science‘ wird insbesondere in Nordamerika für ‚praktisches Operations Research‘ verwendet. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Unterstützung von Führungskräften bei Entscheidungen. Dies bezieht sich primär auf die Anwendung formal-mathematischer Methoden und schließt deren Entwicklung aus.¹⁰⁸⁾

2.3.1.5 Kombinatorik

Die Kombinatorik ist ebenfalls ein Teilgebiet der Stochastik, in dem u.a. die Anzahl der verschiedenen möglichen Anordnungen der Elemente einer Menge oder die Anzahl von möglichen neuen Mengen, die mit Hilfe der Elemente einer Ausgangsmenge gebildet werden können, untersucht wird.¹⁰⁹⁾

Ein einfaches Beispiel zur Kombinatorik ist in Abschnitt 6.2.5.1 zu finden. Dabei wird mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation die mögliche Augensumme von Würfeln ermittelt.

Baupraktische Anwendung findet die Kombinatorik z.B. in der Zusammensetzung unterschiedlicher Bodenklassen für einen Baugrubenaushub, bei dem die Gesamtaushubmenge konstant ist, die Zusammensetzung der Mengenteile einzelner Bodenklassen sich jedoch ändern kann (siehe auch Abschnitt 6.2.5.2).

In ähnlicher Form ist die Zusammensetzung der Gesamtbewehrungsmenge für Stabstähle unterschiedlicher Durchmesser als eine kombinatorische Aufgabe aufzufassen.

2.3.2 Spieltheorie

Die Spieltheorie wird gleich wie die Stochastik und die Numerik als Teilbereich der Mathematik angesehen. Viele ökonomische Fragestellungen weisen im Hinblick auf strategische Entscheidungen folgende Eigenschaften auf:¹¹⁰⁾

- (a) das Ergebnis von Entscheidungen hängt von mehreren Entscheidungsträgern ab, sodass ein einzelner das Ergebnis nicht unabhängig von der Wahl der anderen bestimmen kann;
- (b) jeder Entscheidungsträger ist sich dieser Interdependenz bewusst;
- (c) jeder Entscheidungsträger geht davon aus, dass alle anderen sich ebenfalls der Interdependenz bewusst sind;
- (d) jeder berücksichtigt bei seinen Entscheidungen (a), (b) und (c).

¹⁰⁶⁾ Vgl. <http://www.businessdictionary.com/definition/probabilistic.html>. Datum des Zugriffs: 12.11.2016

¹⁰⁷⁾ Vgl. Suhl/Mellouli (2013), S. 5

¹⁰⁸⁾ Vgl. ebd., S. 6

¹⁰⁹⁾ Vgl. Brockhaus GmbH (1998), S. 423

¹¹⁰⁾ Vgl. Holler/Illing (2006), S. 1

Die Spieltheorie bietet ein abstraktes, formales Instrumentarium für die Analyse strategischer Entscheidungssituationen. Sie wird auch als ‚formale Sprache der ökonomischen Theorie‘ betrachtet.¹¹¹⁾

2.3.3 Numerik

In der Numerik (numerische Mathematik) geht es in der Regel um die näherungsweise Berechnung von Lösungen.

Die Numerik gilt als ein eigener Fachbereich der Mathematik, auf gleicher Ebene wie die Stochastik (siehe Abb. 2-19). Sie beschäftigt sich mit der Konstruktion und Analyse von Algorithmen für kontinuierliche mathematische Probleme. Hauptanwendung ist die approximative Berechnung von Lösungen mit Hilfe von Computern. Dies geschieht aus zwei möglichen Gründen:¹¹²⁾

- Die Größen sind auf dem Papier nicht exakt berechenbar.
- Die Größen sind zwar auf dem Papier exakt bestimmbar, aber die Anwendung erfordert, diese wiederholt und zuverlässig in kurzer Zeit zur Verfügung zu stellen, sodass eine Rechnung von Hand nicht in Frage kommt.

2.4 Statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Begriffe

Nachfolgend werden zentrale statistische und wahrscheinlichkeitstheoretische Begriffe, die für das Verständnis der Zusammenhänge und die Interpretation von Berechnungs- und Simulationsergebnissen von wesentlicher Bedeutung sind, beschrieben.

2.4.1 Zufallsvariable

Eine Zufallsvariable ist eine Variable, die in Abhängigkeit vom Eintreten eines zufälligen Ereignisses einen davon abhängigen Wert annimmt. Ist eine Variable von einer anderen Zufallsvariable funktional abhängig, ist sie ebenfalls eine Zufallsvariable.¹¹³⁾

Zufallsvariablen sind in einer probabilistischen Berechnung alle jene Parameter, die mit Unsicherheiten behaftet sind und nicht als einzelne Zahlenwerte (deterministisch), sondern als Verteilungen in die Berechnungen bzw. Simulationen einfließen.

2.4.2 Verteilung

Eine (Wahrscheinlichkeits-)Verteilung gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Zufallsvariable (z.B. der Aufwandswert für das Schalen) gewisse Ausprägungen annehmen kann. Eine Verteilung ist durch ihre Dichte¹¹⁴⁾ bestimmt.¹¹⁵⁾

¹¹¹⁾ Vgl. Holler/Illing (2006), S. 1

¹¹²⁾ Vgl. Knorrenschild (2013), S. 9

¹¹³⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 210

¹¹⁴⁾ Auch als Dichtefunktion oder Wahrscheinlichkeitsfunktion bezeichnet.

¹¹⁵⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 190

Die Dichte einer diskreten Zufallsvariable ordnet jedem Wert die entsprechende Wahrscheinlichkeit zu, mit der dieser auftritt. Eine diskrete Dichte ist tabellarisch darstellbar, sofern die Anzahl der Träger¹¹⁶⁾ nicht unendlich ist. Die Summe der Wahrscheinlichkeiten muss 1 ergeben.

Die Dichte einer stetigen Zufallsvariable ist eine intervallweise stetige Funktion (d.h. dass der Graph dieser Funktion intervallweise keine ‚Lücken‘ aufweist). Die tabellarische Darstellung von stetigen Dichten ist nicht möglich, da der Träger überabzählbar viele Elemente hat. Das Integral über die gesamte Verteilung (von $-\infty$ bis $+\infty$) muss 1 ergeben (siehe drittes Axiom – Wahrscheinlichkeit nach *Kolmogoroff* – Abschnitt 2.3.1.1).¹¹⁷⁾

Die Dichtefunktionen einer diskreten und einer stetigen Funktion sind in Abb. 2-21 qualitativ dargestellt.

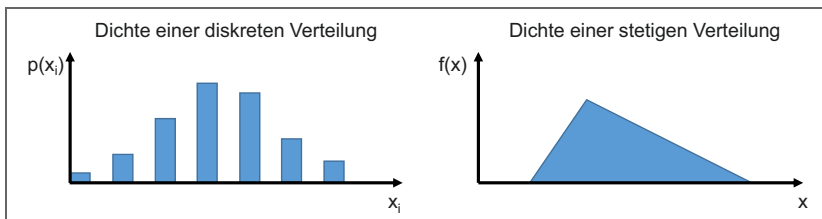


Abb. 2-21 Dichtefunktion einer diskreten (links) und einer stetigen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

Verteilungen können auch als Summenkurven dargestellt werden, indem die Häufigkeiten der einzelnen Werte aufsummiert (kumuliert) werden (siehe Abb. 2-22).

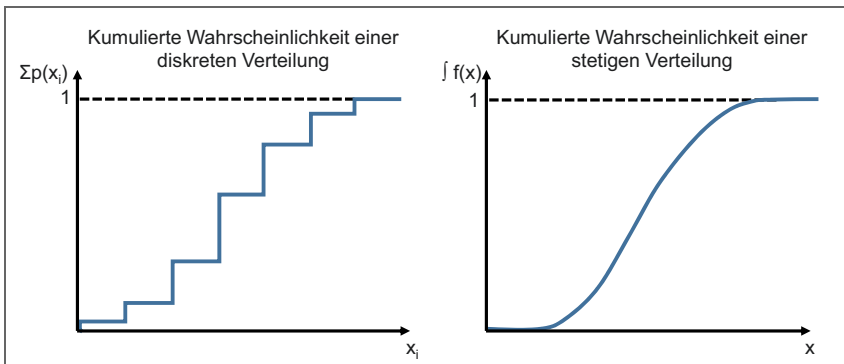


Abb. 2-22 Kumulative Wahrscheinlichkeitsfunktion einer diskreten (links) und einer stetigen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

Auf die Wahl von Verteilungsfunktionen zur Beantwortung baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Fragestellungen mit Hilfe von probabilistischen Berechnungsverfahren wird in Abschnitt 7.1 näher eingegangen.

¹¹⁶⁾ Fasst man alle Elemente einer Menge – die bezüglich einer bestimmten Verteilung eine positive Wahrscheinlichkeit aufweisen – zusammen, erhält man den Träger dieser Verteilung.

¹¹⁷⁾ Vgl. Biermann/Grosser (1999), S. 40f.

2.4.2.1 Diskrete Verteilungen

Diskrete Verteilungen sind dann sinnvoll anwendbar, wenn die entsprechenden Parameter nur einzelne Zahlenwerte – diese müssen nicht ganzzahlig sein – annehmen können (beispielhaft siehe Abb. 2-23 – rechts). Beispielsweise könnte die tägliche Arbeitszeit zwischen 8 und 12 Stunden betragen, wobei eine Unterteilung der Intervalle mit einer Schrittweite von einer halben Stunde denkbar ist.

Auch die Anzahl der einsetzbaren Krane könnte über eine diskrete Verteilung modelliert werden. So wäre beispielsweise der Einsatz von 2, 3 oder 4 Kranen für eine Baustelle denkbar.

In @Risk kann durch die Eingabe der Excel-Funktion (RUNDEN) eine stetige Verteilung sehr einfach in eine ganzzahlige diskrete Verteilung umgewandelt werden. Dabei werden die Zwischenwerte entsprechend mathematisch auf- oder abgerundet und die weiteren Berechnungen erfolgen nur noch mit den gerundeten Werten.

Eine spezielle Form diskreter Verteilungen ist die Bernoulli-Verteilung (siehe Abb. 2-23 – links). Diese kennt nur zwei Ausprägungen (0 oder 1) und eignet sich daher bestens, um den Eintritt bestimmter Ereignisse zu simulieren. Ein Risiko oder ein Produktivitätsverlust kann entweder eintreten ($= 1$) oder er bleibt aus ($= 0$).¹¹⁸⁾

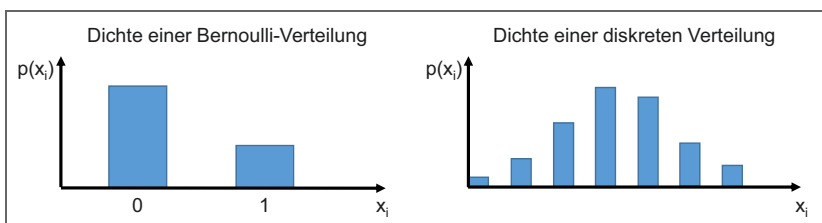


Abb. 2-23 Dichtefunktion einer Bernoulli-Verteilung (links) und einer allgemeinen diskreten Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

2.4.2.2 Stetige Verteilungen

Stetige Verteilungen werden dann angesetzt, wenn innerhalb eines gewissen Bereichs (Bandbreite) alle möglichen Zahlenwerte vorkommen können. Diese Annahme kann z.B. bei Kostenwerten oder bei Aufwands- und Leistungswerten die Realität gut abbilden. Natürlich sind Euro-Beträge auf mehr als zwei Nachkommastellen nicht realisierbar. Alle möglichen Euro-Beträge innerhalb einer gewissen Bandbreite jedoch mittels einer diskreten Verteilung abzubilden, bedeutet einen erhöhten (und unnötigen) Aufwand für die Modellierung, weshalb dafür stetige Verteilungen zur Anwendung kommen.

Ist die Form der Verteilung von Inputparametern nicht bekannt, bieten sich Dreiecksverteilungen (siehe z.B. Abb. 2-21 – rechts) als theoretischer Ansatz an. Diese wirken auf den ersten Blick recht künstlich und werden für Vorgänge oder Ereignisse in der Realität auch nicht anzutreffen sein. Für die Wahl von Dreiecksverteilungen spricht jedoch deren Definition über lediglich drei Werte (minimaler, erwarteter und maximaler Wert), die von Experten leicht abgeschätzt werden können.

¹¹⁸⁾ Mögliches Anwendungsbeispiel: Im Chancen-Risikomanagement für eine probabilistische Erweiterung der ‚Praktikermethode‘, bei der die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkung miteinander multipliziert werden.

Für Aufwands- und Kostenparameter werden häufig schiefe Verteilungen angesetzt. Dies ist einerseits dadurch begründet, dass die menschliche Leistungsfähigkeit tendenziell asymmetrische Verteilungen annimmt, andererseits durch das wirtschaftliche Minimalprinzip, welches sich durch den Einsatz möglichst geringer Mittel zur Zielerreichung auszeichnet. Die Tendenz geht dabei hin zu rechtsschiefen (linkssteilen) Verteilungen.¹¹⁹⁾

Weitere Beispiele für (geschlossene) stetige Verteilungen sind Rechteck- und PERT-Verteilungen (siehe Abb. 2-24).

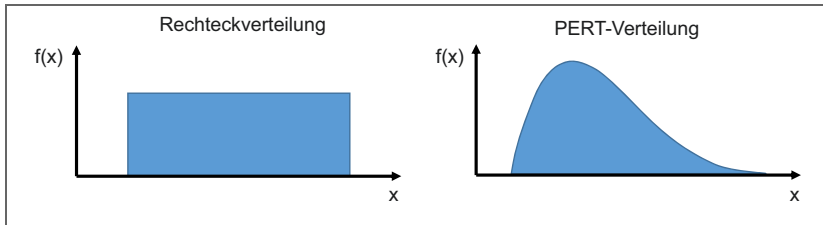


Abb. 2-24 Dichtefunktion einer Rechteckverteilung (links) und einer PERT-Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

2.4.2.3 Offene/geschlossene Verteilungen

Unter ‚geschlossenen‘ Verteilungen werden jene verstanden, die ein definiertes, endliches Minimum und ein definiertes, endliches Maximum aufweisen. Beispiele für geschlossene Verteilungen sind etwa Rechteck-, Dreiecks- oder PERT-Verteilungen.

Bei ‚offenen‘ Verteilungen muss zwischen einseitig und beidseitig offenen Verteilungen unterschieden werden. Handelt es sich um eine beidseitig offene Verteilung, gibt es weder ein endliches Minimum noch ein endliches Maximum. Beide Enden reichen bis $-\infty$ bzw. $+\infty$.

Beispiele für einseitig offene Verteilungen sind Gamma-, LogLogistic-, Weibull- oder Exponentialverteilungen.

Beidseitig offene Verteilungen sind beispielsweise Normal-, Laplace- und Student-Verteilungen.

In Abb. 2-25 sind eine einseitig offene (links) und eine beidseitig offene Verteilung (rechts) qualitativ dargestellt.

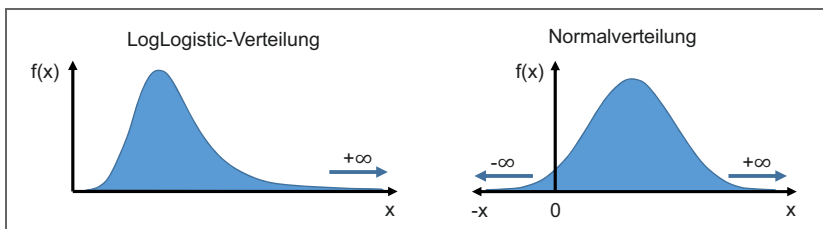


Abb. 2-25 Dichtefunktion einer LogLogistic-Verteilung (links) und einer Normalverteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

¹¹⁹⁾ Eine ähnliche Auffassung im Hinblick auf Vorgangsdauern findet sich bei Rohr (2005), S. 44
Im Hinblick auf die Kosten bei Chau (1995a), S. 17

Bei beidseitig offenen Verteilungen haben sehr hohe bzw. sehr niedrige Werte eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit. Für baubetriebliche und bauwirtschaftliche Berechnungen ist der Ansatz solcher Verteilungen als Inputparameter in der Regel nicht zielführend, da meist eine geschlossene Bandbreite für die Eingangsparameter angegeben werden kann. Auch negative Werte werden in den meisten Fällen nicht sinnvoll in die Berechnungen einzusetzen sein.

2.4.2.4 Unimodale/multimodale Verteilungen

Bei nicht konstanten Verteilungen wird in uni- und multimodale Verteilungen unterschieden. Hat die Dichtefunktion nur ein Maximum, spricht man von einer unimodalen Verteilung (z.B. Normal-, LogLogistic-, PERT-, Dreiecksverteilungen). Weisen mehrere Werte eine höhere Wahrscheinlichkeit auf – gibt es also mehr als ein Maximum – handelt es sich um eine multimodale Verteilung. Beispiele für uni- und multimodale Verteilungen sind in Abb. 2-26 qualitativ dargestellt.

Eine Sonderform der multimodalen (mehrgipfligen) Verteilungen sind bimodale (zweigipflige) Verteilungen.

Multimodalität weist auf eine geschichtete Stichprobe hin. Multimodale Verteilungen können sich beispielsweise bei der Aggregation von Produktivitätsverlusten ergeben, wenn im Zuge einer Monte-Carlo-Simulation bei unterschiedlichen Iterationen einzelne Produktivitätsverluste einmal auftreten und einmal nicht. Es ist dann ein Grenzzustand erreicht, bei dem die Anzahl der eintretenden Produktivitätsverluste nicht eindeutig ist.¹²⁰⁾

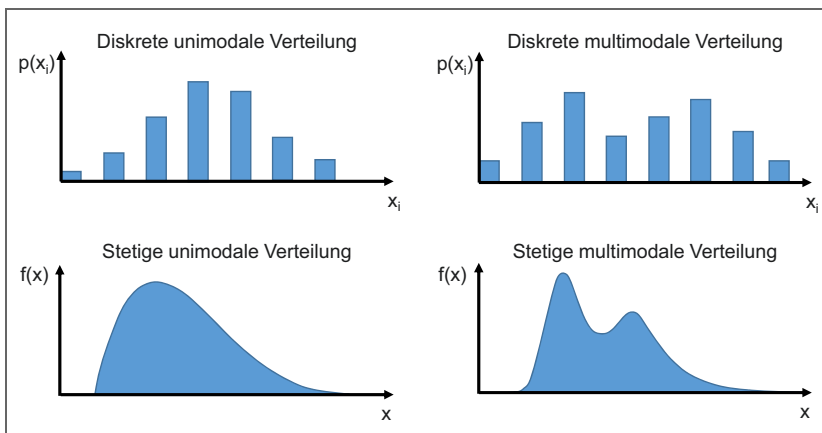


Abb. 2-26 Dichtefunktion diskreter (oben) und stetiger (unten) unimodaler (links) sowie multimodaler (rechts) Verteilungen – Qualitative Darstellung

2.4.2.5 Schiefe/symmetrische Verteilungen

Bei der Form von Verteilungen kann weiters in symmetrische und schiefe Verteilungen unterschieden werden. Symmetrische Verteilungen haben eine vertikale Spiegelungsachse (siehe z.B. Normalverteilung in Abb. 2-25). Schiefe Verteilungen weisen entweder eine

¹²⁰⁾ Vgl. Kummer (2015b), S. 167ff.

Akkumulation im Bereich des Minimums (= rechtsschief bzw. linkssteil) oder im Bereich des Maximums (= linksschief bzw. rechtssteil) auf (siehe Abb. 2-27).

- Für rechtsschiefe/linkssteile Verteilungen gilt:
Modalwert < Median < Mittelwert
- Für linksschiefe/rechtssteile Verteilungen gilt:
Mittelwert < Median < Modalwert (siehe Abb. 2-29)

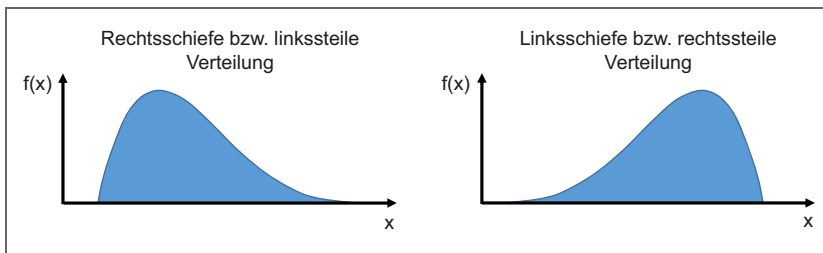


Abb. 2-27 Dichtefunktion einer rechtsschiefen bzw. linkssteilen (links) und einer linksschiefen bzw. rechtssteilen Verteilung (rechts) – Qualitative Darstellung

2.4.3 Histogramm

Für die Erhebung eines stetigen Merkmals ist es im Allgemeinen nötig, eine Diskretisierung dieses Merkmals vorzunehmen – dies geschieht durch die Bildung von Klassen. Die Darstellung der Klassenhäufigkeiten (Ordinate) in Form von Flächen über den Klassen (Abszisse) wird als Histogramm bezeichnet (siehe Abb. 2-28). Bei nicht-äquidistanter Einteilung der Klassenbreite lässt die Höhe der Rechtecke keine Aussage über die Häufigkeit der einzelnen Werte zu. Diese wird in diesem Fall nur über die Fläche (Klassenbreite mal Balkenhöhe) ausgedrückt.

Die Summe der Balkenflächen ist auf 1 normiert (siehe auch drittes Axiom – Wahrscheinlichkeit nach *Kolmogoroff* – Abschnitt 2.3.1.1)

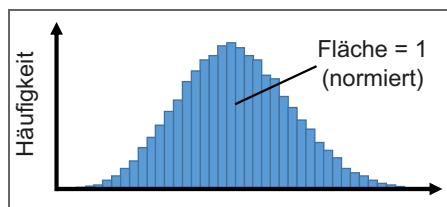


Abb. 2-28 Histogramm – Qualitative Darstellung

2.4.4 Lageparameter

Lageparameter werden in der deskriptiven Statistik dazu genutzt, die zentrale Lage bzw. den Mittelpunkt einer Verteilung näher zu beschreiben. Sie verdichten dabei die Stichprobenelemente bzw. Elemente der Grundgesamtheit zu einer einzelnen Zahl. Die wichtigsten sind der Mittelwert, der Modalwert und der Median.¹²¹⁾

¹²¹⁾ Vgl. <http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/80/lageparameter/>. Datum des Zugriffs: 14.11.2016

2.4.4.1 Mittelwert

Der Mittelwert ist ein Lageparameter einer Stichprobe und kann je nach Aufgabenstellung auf unterschiedliche Arten definiert werden. Der arithmetische Mittelwert ist am häufigsten verbreitet und wird auch in diesem Buch angewandt. Weitere Bezeichnungen lauten Durchschnitt oder einfach nur Mittel.

Er ist besonders bei kleinen Stichproben sehr anfällig für mögliche Ausreißer, weshalb je nach Anwendungsziel eine Ausreißerbereinigung notwendig sein kann. Eine Möglichkeit, extreme Angaben z.B. von Experten inhaltlich zu berücksichtigen, ohne dass die Ergebnisse verzerrt werden, ist die Anwendung der M-Schätzer-Methode nach *Huber*. Dabei fließen Ausreißer und Extremwerte mit geringerem Gewicht in den Mittelwert ein (siehe Abschnitt 2.4.4.5).

2.4.4.2 Modalwert

Der Modalwert wird auch noch wie folgt bezeichnet:

- Modus
- Häufigster Wert
- Erwarteter Wert
- Expertenwert
- Wahrscheinlichster Wert
- Planwert¹²²⁾

„Der [...] Modalwert [...] ist diejenige Merkmalsausprägung mit der größten (absoluten oder relativen) Häufigkeit. Bei klassierten Daten ist die Modalklasse diejenige Klasse mit der größten Besetzungsdichte.“¹²³⁾

Der Modus bildet damit das Maximum der Dichtefunktion.

2.4.4.3 Median

Der Median (auch: Zentralwert) beschreibt jenen Wert einer Verteilung, bei dem 50 % der Werte kleiner und 50 % der Werte größer sind. Durch den Median wird also eine Verteilung in zwei gleich große Flächen unterteilt. Bei symmetrischen Verteilungen entspricht der Median dem arithmetischen Mittelwert. Verglichen mit dem arithmetischen Mittel ist der Median stabiler gegenüber Ausreißern, d.h. diese beeinflussen die Höhe des Medians nicht so stark wie den arithmetischen Mittelwert.¹²⁴⁾

2.4.4.4 Erwartungswert

Der Erwartungswert $E(X)$ (bzw. μ) kann als jene Zahl interpretiert werden, die die Zufallsvariable im Mittel annimmt. Wird der Mittelwert aus den Ergebnissen eines Versuchs gebildet, konvergiert der Mittelwert gegen den Erwartungswert. Der Erwartungswert stellt eine Größe dar, mit der bei einer großen Anzahl an Versuchen zu rechnen ist.

¹²²⁾ Vgl. Oepen (2012), S. 49

¹²³⁾ Sachs (2013), S. 35

¹²⁴⁾ Vgl. Bartsch (2004), S. 667

Bei einer unendlichen Anzahl an Wiederholungen eines Zufallsexperiments entspricht der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse dem Erwartungswert der Verteilung. D.h. der Stichprobenmittelwert einer Zufallsvariablen nähert sich mit steigender Stichprobengröße dem Erwartungswert an (Gesetz der großen Zahlen).

„Die Schätzfunktion für den Erwartungswert ist das arithmetische Mittel.“¹²⁵⁾

Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Lageparameter

In der nachfolgenden Abbildung werden die Lageparameter (Mittelwert, Modalwert und Median) anhand von schiefen Verteilungen qualitativ dargestellt. Bei rechtsschiefen unimodalen Verteilungen (siehe Abb. 2-29 – links) nimmt der Modalwert einen kleineren und der Mittelwert einen größeren Zahlenwert als der Median auf der Abszisse an. Bei linksschiefen Verteilungen ist dies genau umgekehrt (siehe Abb. 2-29 – rechts).

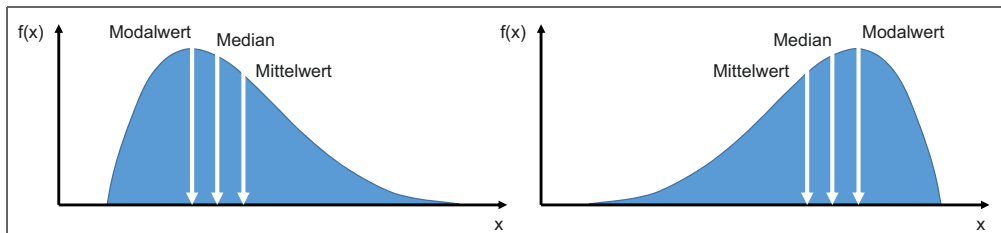


Abb. 2-29 Lageparameter bei schiefen Verteilungen – Qualitative Darstellung

2.4.4.5 M-Schätzer nach Huber

Beim M-Schätzer nach *Huber* handelt es sich um einen robusten Lageparameter, der weniger anfällig für Verzerrungen durch Ausreißer oder Extremwerte ist als z.B. der arithmetische Mittelwert. Bei der Bildung des M-Schätzers nach *Huber* werden die erhobenen Werte entsprechend einer Funktion (siehe Abb. 2-30) unterschiedlich stark gewichtet.¹²⁶⁾

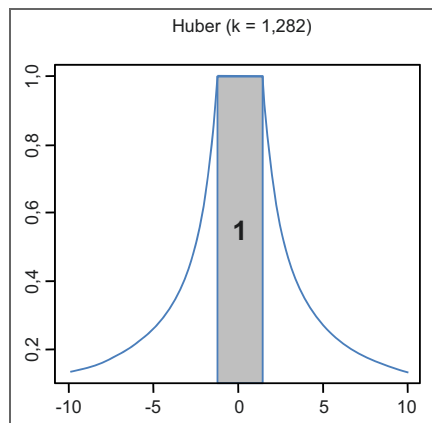


Abb. 2-30 M-Schätzer nach *Huber* – Qualitative Darstellung¹²⁷⁾

¹²⁵⁾ Suhl/Mellouli (2013), S. 283

¹²⁶⁾ Vgl. Hofstadler (2014a), S. 105ff.

¹²⁷⁾ ebd., S. 106

Damit fließen Ausreißer und Extremwerte mit geringem Gewicht in die Mittelwertbildung ein und müssen nicht eliminiert werden. Der Bereich, in dem Werte voll (mit 1 gewichtet) in die Berechnung einfließen wird mittels einer Tuningkonstante k bestimmt. Tab. 2-1 zeigt eine Übersicht über gebräuchliche k -Werte für die M-Schätzer-Methode nach *Huber*. Welcher k -Wert bei der Datenanalyse angesetzt wird, hängt von der Anzahl, Entfernung und Art der Verteilung der Ausreißer und Extremwerte sowie von inhaltlichen Überlegungen ab.¹²⁸⁾

| M-Schätzer nach Huber | H19 | H16 | H12 | H8 |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Tuningkonstante k | 1,960 | 1,645 | 1,282 | 0,842 |
| Voll gewichteter Bereich bei der Mittelwertbildung | ~ 95 % | ~ 90 % | ~ 80 % | ~ 60 % |

Tab. 2-1 Tuningkonstante k für die M-Schätzer nach *Huber* („Huber Proposal 2“)¹²⁹⁾

2.4.5 Varianz

Die Varianz ist ein Maß für die Streuung, beschreibt also die Abweichung einer Zufallsvariablen um ihren Erwartungswert und wird für diskrete Zufallsvariablen wie folgt beschrieben:

$$\text{Var}(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \cdot p_i \quad (2-2)$$

Für stetige Zufallsvariablen ergibt sich die Varianz nach (2-3).

$$\text{Var}(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x) \cdot dx \quad (2-3)$$

Der Unterschied der Streuung bei größerer und kleinerer Varianz ist in Abb. 2-31 für zwei stetige symmetrische Verteilungen mit gleichem Erwartungswert qualitativ dargestellt. Die flachere Verteilung hat eine größere Streuung möglicher Merkmalsausprägungen und damit auch eine höhere Varianz.

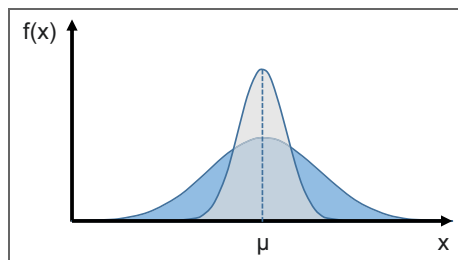


Abb. 2-31 Vergleich unterschiedlicher Streuungen bei gleichem Mittelwert – Qualitative Darstellung

¹²⁸⁾ Vgl. Hofstadler (2014a), S. 105ff.

¹²⁹⁾ Vgl. ebd., S. 107

2.4.6 Standardabweichung

Wird die Quadratwurzel aus der Varianz gezogen, ergibt sich die Standardabweichung, die ebenfalls ein Maß für die Streuung darstellt.

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (2-4)$$

Für die Normalverteilung befindet sich, unabhängig vom zahlenmäßigen Wert des Mittelwerts und der Standardabweichung, immer ein bestimmter Teil der Gesamtfläche in symmetrischen Intervallen \pm einem Vielfachen der Standardabweichung um den Mittelwert (siehe Abb. 2-32):

- Im Intervall $\pm 1 \cdot \sigma$ um den Mittelwert befinden sich 68,27 % der Werte
- Im Intervall $\pm 2 \cdot \sigma$ um den Mittelwert befinden sich 95,45 % der Werte
- Im Intervall $\pm 3 \cdot \sigma$ um den Mittelwert befinden sich 99,73 % der Werte

Die zentralen 95 % der Werte werden für die Normalverteilung durch die 1,96-fache Standardabweichung in positiver und negativer Richtung vom Mittelwert begrenzt. Die zentralen 99 % der Werte werden für die Normalverteilung durch die 2,58-fache Standardabweichung in positiver und negativer Richtung vom Mittelwert begrenzt. Zu beachten ist, dass diese Angaben nur für Normalverteilungen, nicht aber für andere Verteilungsformen gelten.

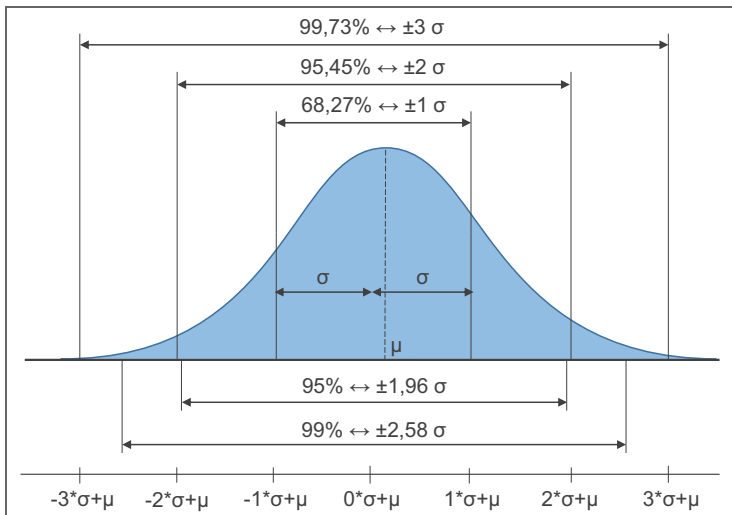


Abb. 2-32 Quantilwerte in Abhängigkeit der Standardabweichung – Normalverteilung

2.4.7 Quantilwerte/Quantilsabstände

Ein p-Quantil (auch als Fraktile bezeichnet) gibt jenen x-Wert einer Verteilung wieder, unter dem sich der entsprechende Prozentsatz p an Werten befindet (siehe Abb. 2-33).¹³⁰⁾

¹³⁰⁾ Gebräuchlich ist neben der Bezeichnung Q_p auch X_p .

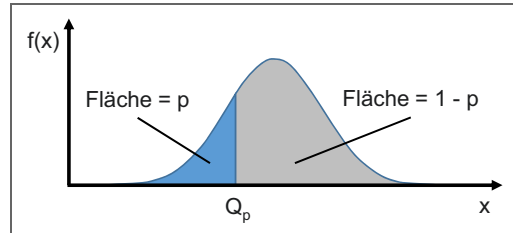


Abb. 2-33 Quantilwert Q_p einer stetigen Verteilungsfunktion

Quartile (Viertelwerte) sind spezielle Quantilwerte, bei denen die Verteilungsfunktion in vier gleich große Bereiche (zu je 25 %) eingeteilt wird. Unter dem ersten Quartil befinden sich demnach 25 % der Werte, unter dem zweiten (auch als Median bezeichnet) befinden sich 50 % der Werte usw.

Weitere spezielle Quantilwerte sind Quintile (Fünftelwerte), Dezile (Zehntelwerte) und Perzentile (Hundertstelwerte).

Die Spannweite (oder Bandbreite) einer Verteilung ergibt sich aus der Differenz des höchsten und des niedrigsten Werts. Eine Spannweite kann demnach nur für beidseitig begrenzte Verteilungen angegeben werden.

Ein Quantilsabstand wird individuell festgelegt und gibt die Differenz zwischen den Quantilen Q_{1-p} und Q_p wieder.

Der Quartilsabstand ist ein spezieller Quantilsabstand und gibt die Differenz zwischen dem 75 %-Quantil und dem 25 %-Quantil wieder und ist ein stabilerer Kennwert für die Streuung einer Verteilungsfunktion als deren Spannweite. Der Quartilsabstand wird auch als Interquartilsabstand IQR (,interquartile range') bezeichnet und definiert in Boxplotdiagrammen den Bereich der Box. Er trennt jeweils ein Viertel der Werte der Verteilung nach unten bzw. oben ab.¹³¹⁾

2.4.8 Sicherheitsniveau

Als Sicherheitsniveau wird jener Quantilwert einer Verteilung bezeichnet, der aufgrund risikopolitischer und strategischer Überlegungen als Grenzwert für Entscheidungen individuell festgelegt wird. Ein Sicherheitsniveau von z.B. 80 % für Einzelkosten der Stahlbetonarbeiten bedeutet, dass in 20 % der Fälle dieser Quantilwert über- und in 80 % der Fälle unterschritten wird. Die Chance, niedrigere Kosten in der Ausführung zu realisieren liegt damit bei 80 %, das Risiko bei 20 %.¹³²⁾

2.4.9 Zentraler Grenzwertsatz

Für die Summe einer großen Zahl an Zufallsvariablen – unabhängig von der Art der Verteilung einer einzelnen Variablen – ergibt sich im Grenzfall (n geht gegen unendlich) immer (annähernd) eine Normalverteilung. Vorausgesetzt, dass die einzelnen Zufallsvariablen stochastisch unabhängig sind. Für das Produkt mehrerer Zufallsvariablen ergibt

¹³¹⁾ Vgl. Sachs (2013), S. 40

¹³²⁾ Auf Basis der des aktuellen Kenntnisstands.

sich für den Grenzfall (n geht gegen unendlich) immer (annähernd) eine logarithmische Normalverteilung. Dies gilt wiederum nur unter der Prämisse, dass die einzelnen Zufallsvariablen stochastisch unabhängig sind.¹³³⁾

Es kann keine ‚echte‘ Normalverteilung (im Sinne einer beidseitig offenen Verteilung) durch die Addition mehrerer Zufallsvariablen entstehen, wenn die Summanden nur aus begrenzten (geschlossenen) Verteilungen bestehen. Gleiches gilt auch für die Log-Normalverteilung¹³⁴⁾ als Produkt mehrerer Zufallsvariablen. Sind die Eingangsparameter durch geschlossene Verteilungen definiert, werden auch die Summe und das Produkt dieser – unabhängig von der Anzahl der Variablen – endliche Werte aufweisen.

2.4.10 Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz

Wird die Summe aus mehreren Zufallsvariablen gebildet, zeigt sich, dass die Bandbreite der Ergebnisse, bezogen auf die Standardabweichung der Summe, immer enger wird, je mehr Summanden in die Berechnung einfließen.

Dieser Zusammenhang ist auch mathematisch durch das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz begründet. Dabei ist die Zielgröße y eine Funktion $f(x_i)$ die von mehreren Variablen (x_i) abhängig ist. Vorausgesetzt wird, dass diese Variablen unabhängig voneinander (unkorreliert) sind. Weiters müssen die Mittelwerte und die Standardabweichungen jeder Variablen (x_i) bekannt sein. Die Standardabweichung von y kann dann näherungsweise wie folgt ermittelt werden:

$$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f(\bar{x}_i)}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_{x_i}^2} \quad (2-5)$$

Mit: $i = 1, 2, \dots, m$

Wird also die Summe aus mehreren Summanden gebildet, stellt sich die Funktion für y folgendermaßen dar:

$$y = f(\bar{x}_i) = \sum_{i=1}^m x_i \quad (2-6)$$

Anhand eines Beispiels werden die Ergebnisse, die sich aus der Summierung von Dreiecksverteilungen (MIN: 800; ERW: 1.000; MAX: 1.200) ergeben, rechnerisch nachvollzogen und mit den Ergebnissen einer Monte-Carlo-Simulation verglichen.

Der Mittelwert beträgt demnach für alle Variablen 1.000 und die Standardabweichung kann für diese Dreiecksverteilungen anhand folgender Gleichung mit 81,65 ermittelt werden:

$$s = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}} \quad (2-7)$$

Mit:

- a Minimalwert (hier: 800)
- b Erwarteter Wert (hier: 1.000)
- c Maximalwert (hier: 1.200)

¹³³⁾ Vgl. Lederer (1982), S. 58f.

¹³⁴⁾ Log-Normalverteilung = logarithmische Normalverteilung

Die partiellen Ableitungen in Glg. (2-5) ergeben sich für die Summe aus mehreren Variablen jeweils zu 1, somit errechnet sich die Standardabweichung (s_y) der Zielgröße y aus der Wurzel der quadrierten und summierten Standardabweichungen der Variablen. Beispielsweise hier für 5 Variablen dargestellt.¹³⁵⁾

$$s_y = \sqrt{81,65^2 + 81,65^2 + 81,65^2 + 81,65^2 + 81,65^2} = 182,574$$

Im Vergleich zum Ergebnis der Simulation (= 182,61) ist hier nur eine sehr geringe Differenz festzustellen. Die weiteren Standardabweichungen aus der mathematischen Berechnung sowie aus den Simulationen sind einander für die Summe aus mehreren Variablen in Tab. 2-2 gegenübergestellt. Weiters sind die Differenzen (zwischen den Standardabweichungen der Berechnungen und der Simulationen) je nach Anzahl der Versuche in einer eigenen Spalte (D) angeführt. Es ist zu erkennen, dass die Unterschiede sehr gering ausfallen und damit auf Basis der Simulation eine gute Annäherung an das mathematische Ergebnis gelungen ist.

| Standardabweichungen – Summe (Dreiecksverteilungen) | | | | |
|---|----------------------|------------|------------|-----------|
| Lfd. Nr. | Anzahl der Variablen | Berechnung | Simulation | Differenz |
| 0 | A | B | C | D |
| 1 | 1 | 81,65 | 81,65 | 0,00 |
| 2 | 2 | 115,47 | 115,56 | 0,09 |
| 3 | 5 | 182,57 | 182,61 | 0,03 |
| 4 | 10 | 258,20 | 257,84 | -0,36 |
| 5 | 15 | 316,23 | 315,86 | -0,37 |
| 6 | 20 | 365,15 | 364,10 | -1,05 |
| 7 | 50 | 577,35 | 578,56 | 1,21 |
| 8 | 100 | 816,50 | 818,10 | 1,60 |
| 9 | 200 | 1.154,70 | 1.158,66 | 3,96 |
| 10 | 500 | 1.825,74 | 1.831,22 | 5,48 |
| 11 | 1.000 | 2.581,99 | 2.585,54 | 3,55 |

Tab. 2-2 Standardabweichungen der Summe mehrerer Variablen – Vergleich der Ergebnisse aus der mathematischen Berechnung und der Monte-Carlo-Simulation

Die Probleme, die sich aus der mathematischen Berechnung ergeben, sind zum einen, dass die Standardabweichung für Verteilungen von Experten nur sehr schwer abgeschätzt werden kann. Zum anderen entspricht der erwartete Wert (Modus) nicht automatisch dem Mittelwert einer Verteilung. Bei schiefen Verteilungen weichen diese voneinander ab. Schließlich gilt die vorgestellte mathematische Berechnungsgleichung nur für unabhängige – also unkorrelierte – Variablen.

Anmerkung: Für das obige Beispiel macht es im Übrigen keinen Unterschied für den Variationskoeffizienten¹³⁶⁾, welche Größenordnung der minimale, erwartete und der maximale Wert annehmen. Es ändern sich dadurch natürlich die Mittelwerte und die Standardabweichungen, da diese aber bei der Ermittlung des Variationskoeffizienten in Beziehung gesetzt werden, hebt sich dieser Einfluss wieder auf. Ob also 800 – 1.000 –

¹³⁵⁾Hinweis: Beim händischen Nachrechnen der Ergebnisse können sich aufgrund von Rundungsfehlern geringfügige Abweichungen ergeben, da die Berechnungen mit MS Excel durchgeführt wurden.

¹³⁶⁾Der Variationskoeffizient ist ein relatives Streuungsmaß und wird durch die Division der Standardabweichung durch den Erwartungswert ermittelt.

1.200 oder bspw. $4,8 - 6 - 7,2$ für den minimalen, erwarteten und maximalen Wert angesetzt werden, ist für den Variationskoeffizienten unerheblich.

Die Variationskoeffizienten können auch in Form eines Diagramms in Abhängigkeit der Anzahl an Variablen anschaulich dargestellt werden. In Abb. 2-34 wurde der Variationskoeffizient für die Summe mehrerer identischer Variablen ermittelt. Dabei wurden die Verteilungsfunktionen der Summanden für jede der drei Betrachtungen variiert. Die größten Variationskoeffizienten ergeben sich bei Rechteckverteilungen. Die Unterschiede zwischen Dreiecks- und PERT-Verteilungen sind als sehr gering einzustufen. Generell ist eine deutliche Abnahme der Streuung mit zunehmender Anzahl der Summanden erkennbar. Es gilt zu beachten, dass die Abszisse nicht in Form einer Verhältnisskala, sondern durch Klassen dargestellt ist.

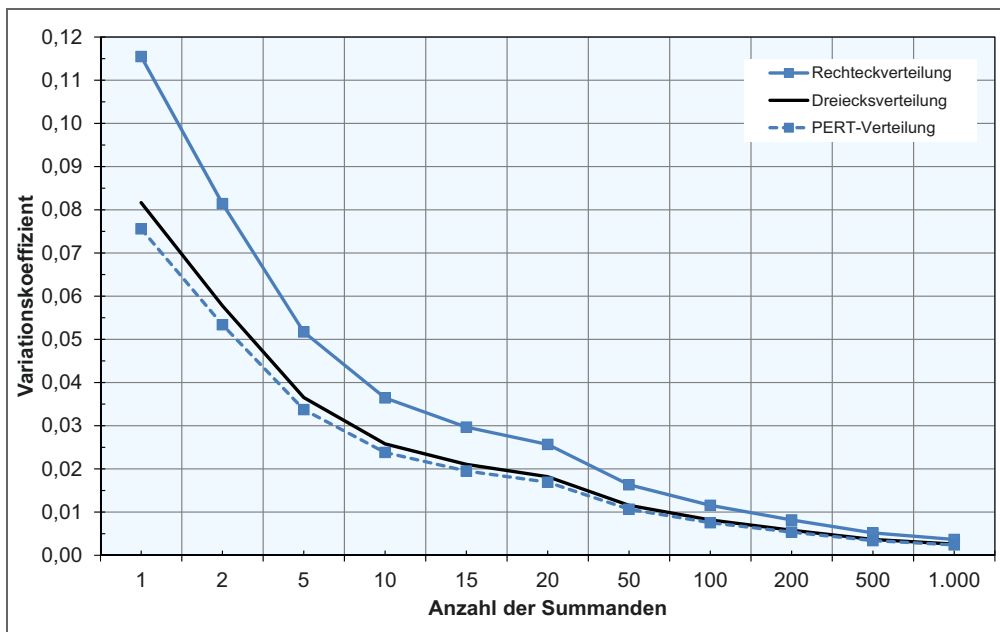


Abb. 2-34 Änderung des Variationskoeffizienten für die Summe in Abhängigkeit der Anzahl an identischen Summanden und mit unterschiedlichen symmetrischen Verteilungsfunktionen

Weiters ist zu beachten, dass bei jeder der Betrachtungen die Summanden identisch angesetzt wurden und somit den gleichen Einfluss auf die Summe haben.

Die Anwendung des Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetzes kann zur Prüfung der Plausibilität von Ergebnissen einer Monte-Carlo-Simulation herangezogen werden. Sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Eingangsvariablen sowie deren funktionaler Zusammenhang bekannt, kann unter der Voraussetzung, dass die Variablen unabhängig voneinander sind, die Standardabweichung der Zielgröße berechnet werden. Damit erhält man ein Kontrollinstrument, mit dem die Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation auf Plausibilität geprüft werden können.

2.4.11 Korrelation/Korrelationskoeffizienten

Eine Korrelation (lat. Wechselbeziehung) ist ein eindimensionales (standardisiertes) Maß für den linearen Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen. Abhängig von der Ausprägung (Skalierung) der Merkmale¹³⁷⁾ kommen unterschiedliche bivariate¹³⁸⁾ Korrelationsarten zum Einsatz (siehe Tab. 2-3).

| | | Merkmal x | |
|-----------|----------|-----------------|----------------------------|
| | | ordinal | metrisch |
| Merkmal y | ordinal | Rangkorrelation | Rangkorrelation |
| | metrisch | Rangkorrelation | Produkt-Moment-Korrelation |

Tab. 2-3 Bivariate Korrelationsarten¹³⁹⁾

Weitere Korrelationsarten sind z.B.:

- Punktbiseriale Korrelation (dichotomes und intervallskaliertes Merkmal)
- Φ -Koeffizient (Phi-Koeffizient – zwei dichotome Merkmale)
- Biseriale Rangkorrelation (dichotomes und rangskaliertes Merkmal)

Weiters wird in zwischenklassliche und innerklassliche Korrelationen unterschieden:

- Zwischenklassliche Korrelationen
Befassen sich mit Beziehungen zwischen verschiedenartigen Größen wie beispielsweise:
 - Storch- und Geburtenanzahl¹⁴⁰⁾
 - Preis und Qualität
 - Arbeitsaufwand und -ergebnis
 - Umsatz und Konjunktur
- Innerklassliche Korrelationen
Befassen sich mit Beziehungen zwischen gleichartigen Größen wie beispielsweise:
 - Von einem Arbeitsergebnis zum darauffolgenden

¹³⁷⁾ Unterschiedliche Skalen sind:

- Nominalskala (Merkmale ohne natürliche Rangfolge – z.B. Geburtsorte: ‚Klagenfurt/Graz/Wien‘)
- Ordinalskala (Merkmale mit natürlicher Rangfolge, über die Größe des Merkmalsunterschieds kann keine Aussage gemacht werden – z.B. ‚hoch > mittel > niedrig‘)
- Intervallskala (Merkmale werden durch Zahlenwerte dargestellt, bei denen Rangunterschiede und Abstände zwischen den Werten gemessen werden können. Es gibt keinen natürlichen Nullpunkt – z.B. Temperaturskalen).
- Verhältnisskala (Skala besitzt einen absoluten Nullpunkt, Aussagen über Größenverhältnisse sind zulässig – z.B. Skalen physikalischer Größen)
- Dichotome Skala (Merkmale, die nur zwei Ausprägungen aufweisen – z.B. ‚wahr/falsch‘)

¹³⁸⁾ Bivariate Verteilungen sind zweidimensionale Zufallsvariablen, bei denen sowohl das Merkmal x als auch das Merkmal y durch eine Verteilung dargestellt werden kann.

¹³⁹⁾ Vgl. Universität Siegen, ‚Marktforschung‘ Sommersemester 2011. Online unter: <http://slideplayer.de/slide/644669/#>. Datum des Zugriffs: 20.10.2016

¹⁴⁰⁾ Hier könnte sich aus einer erhobenen Datenbasis zwar eine Korrelation ergeben, ein kausaler Zusammenhang ist damit aber nicht nachweisbar.

- Von einem Tagesumsatz zum nächsten
- Die Entwicklung von Aktienkursen¹⁴¹⁾

Innerklassische Korrelationen werden auch Inter-, Intra- oder Autokorrelationen genannt.¹⁴²⁾

In der Kalkulation liegt das Interesse meist auf zwischenklassischen Korrelationen, wie z.B.:

- Zusammenhang zwischen Schalungsfläche und Betonmenge
- Zusammenhang zwischen Schalungsgrad und Aufwandswert für das Schalen
- Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Aufwandswert für das Bewehren

Eine vorhandene Korrelation lässt keine Aussage über die Kausalität zwischen zwei Merkmalsausprägungen zu. Folgende Kausalitätsbeziehungen können vorherrschen:¹⁴³⁾

- x bewirkt y
- y bewirkt x
- x und y werden durch eine oder mehrere andere Variablen beeinflusst (Scheinkorrelation bzw. partielle Korrelation)

2.4.11.1 Produkt-Moment-Korrelation

Die Produkt-Moment-Korrelation (auch als Pearson- oder Bravais-Pearson-Korrelation bezeichnet) gibt den standardisierten Zusammenhang zwischen zwei intervallskalierten Merkmalen an. Es handelt sich dabei um die Kovarianz zweier Merkmale, dividiert durch das Produkt der Standardabweichungen (siehe Glg. (2-8)). Die Kovarianz wird dadurch standardisiert und Korrelationskoeffizienten werden vergleichbar.

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2-8)$$

Der Korrelationskoeffizient kann nur Werte zwischen -1 und +1 annehmen und gibt die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen wieder.

Liegt der Korrelationskoeffizient bei -1, liegt ein perfekter negativer Zusammenhang vor. Alle Messpunkte liegen auf einer Geraden mit negativer Steigung.

Liegt der Korrelationskoeffizient bei +1, liegt ein perfekter positiver Zusammenhang vor. Alle Messpunkte liegen auf einer Geraden mit positiver Steigung.

Ist der Korrelationskoeffizient null, besteht kein linearer Zusammenhang, d.h. die Variablen sind unkorreliert. Dies bedeutet aber nicht, dass keine nichtlinearen Zusammenhänge vorherrschen können (z.B. ein U-förmiger Zusammenhang).

¹⁴¹⁾ Vgl. Schulz (1980), S. 48

¹⁴²⁾ Vgl. ebd.

¹⁴³⁾ Vgl. Universität Siegen, 'Marktforschung' Sommersemester 2011. Online unter: <http://slideplayer.de/slide/644669/#>. Datum des Zugriffs: 20.10.2016

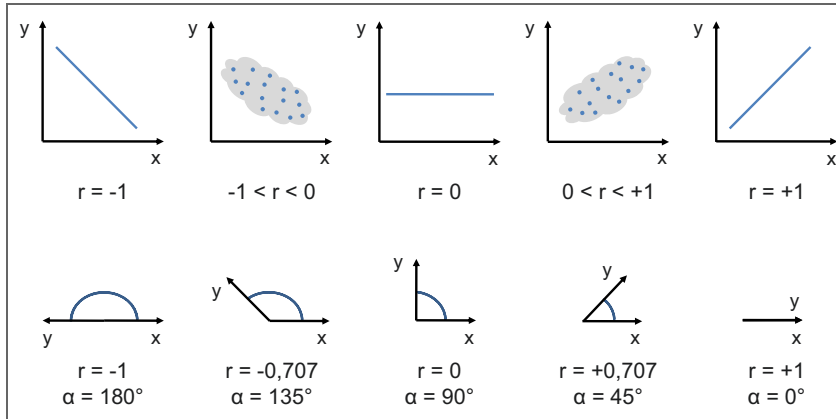


Abb. 2-35 Zusammenhang zwischen zwei Variablen x und y bei unterschiedlichen Korrelationskoeffizienten – Oben: Punktwolken – Unten: Vektordarstellung¹⁴⁴⁾

Einen grafischen Überblick über die Interpretation von Korrelationskoeffizienten liefert Abb. 2-35. Darin sind die Zusammenhänge in der oberen Reihe in Form von Punktwolken und in der unteren Reihe als Vektorpaare zweier Variablen (x und y) dargestellt. Für die Darstellung als Vektorpaar lässt sich der Korrelationskoeffizient r in den Kosinus von α überführen (siehe Glg. (2-9)).

$$r = \cos \alpha \quad (2-9)$$

Die Produkt-Moment-Korrelation ist identisch mit der Rangkorrelation – vorausgesetzt es liegen intervallskalierte Merkmale vor.¹⁴⁵⁾

In @Risk können Produkt-Moment-Korrelationen in Form von Korrelationsmatrizen eingegeben und damit in den Simulationen berücksichtigt werden.

2.4.11.2 Rangkorrelation

Die Rangkorrelation (auch Korrelationskoeffizient nach *Spearman* genannt) wird bei Vorliegen von zwei Merkmalen einer Ordinalskala oder einem Merkmal einer Intervallskala und einem Merkmal einer Ordinalskala (siehe Tab. 2-3) angewendet. Den Merkmalsausprägungen werden Rangplätze zugewiesen und deren Differenz d_i ermittelt. Die Anzahl der möglichen Rangplätze n entspricht der Anzahl an vorhandenen Messdatenpaaren. Berechnet wird die Rangkorrelation mittels Glg. (2-10).

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)} \quad (2-10)$$

¹⁴⁴⁾ Vgl. <http://www.faes.de/Basis/Basis-Statistik/Basis-Statistik-Korrelation-Re/basis-statistik-korrelation-re.html>. Datum des Zugriffs: 11.11.2016

Vgl. <http://www.faes.de/Basis/Basis-Lexikon/Basis-Lexikon-Multivariate/Basis-Lexikon-Faktorenanalyse/basis-lexikon-faktorenanalyse.html>. Datum des Zugriffs: 11.11.2016
Vgl. Schulz (1980), S. 78ff.

¹⁴⁵⁾ Vgl. z.B. Krempl (2012), S. 56

2.4.12 Historische Daten

Unter historischen Daten wird ein Datenbestand zu einem bestimmten Zeitpunkt (z.B. Stand zum Betrachtungszeitpunkt, Stand zum Jahresanfang/Monatsbeginn etc.) verstanden. Dieser Datenbestand kann getrennt gespeichert und später für die Definition von unsicheren Parametern herangezogen werden. Historische Daten können dabei je nach Abgrenzung z.B. aus einem laufenden oder aus (mehreren) abgeschlossenen Projekten stammen. Sie werden dazu eingesetzt, um das Verhalten bzw. die Ausprägung gewisser Parameter oder Kennzahlen zu untersuchen und um z.B. Verteilungsfunktionen für bestimmte Parameter zu generieren (siehe auch Abschnitt 2.4.13). Weiters können Entwicklungen von Kennzahlen oder Fortschrittswerten (z.B. Kosten-, Termin-, Inhalts- oder Umfangparameter) für Trendanalysen herangezogen werden. Solche Analysen dienen einerseits dazu, Abweichungen von einem geplanten SOLL-Ablauf darzustellen, andererseits können damit auch Prognosen für einen bestimmten Betrachtungshorizont erstellt werden.

Entscheidend bei der Verwendung historischer Daten ist die Abgrenzung. Es ist darauf zu achten, dass keine zusätzlichen Effekte in der Datenbasis enthalten sind, die die Werte oder die getätigten Aussagen verfälschen.

2.4.13 Fitting

Die Überführung von Datensätzen (z.B. aus historischen Daten) in theoretisch beschreibbare Verteilungsfunktionen wird als ‚Datenfitting‘ bezeichnet. Dabei werden die vorhandenen Daten analysiert und in weiterer Folge durch mathematisch-statistische Verfahren untersucht, welche theoretische Verteilungsfunktion die vorhandenen Daten bestmöglich (mit dem geringsten Fehler) abbildet.

Unter einem Fitting wird damit eine Funktionsanpassung unter Berücksichtigung von Messfehlern oder Unsicherheiten der Messpunkte verstanden. Die bekannteste Methode für Datenfittings ist die Methode der kleinsten Quadrate. Das Ergebnis eines Fits ist immer eine Kurvenschar, in der der ‚wahre‘ funktionale Zusammenhang mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit liegt.

Ziel des Fittings ist es, numerisch die Parameter (Verschiebungs- und Formparameter) einer Verteilungsfunktion zu bestimmen, sodass die Verteilung möglichst genau die erhobenen Rohdaten abbildet.

Die Genauigkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse aus dem Fitting sind immer von der Qualität der Grunddaten und der Anzahl der Datenpunkte abhängig. Je mehr Datenpunkte vorhanden sind, desto eher werden die Ergebnisse des Datenfittings die Grundgesamtheit der Werte eines Parameters abdecken.

Die Ergebnisse eines Datenfittings sind immer auf Plausibilität zu prüfen. Meist ergeben sich dabei Fragen über die Zulässigkeit von negativen Wertebereichen und über die Ausbildung der Grenzen (offen oder geschlossen).

2.5 Zusammenfassung

Für die Begriffe ‚Chance‘ und ‚Risiko‘ gibt es in der Literatur zwei Definitionsrichtungen. Für das Buch wird festgelegt, dass Chancen und Risiken Erwartungshaltungen unter

Unsicherheit darstellen. Neben Unsicherheiten, treten für alle Aussagen über die Zukunft Ungewissheit und Unwissen auf.

Risiko ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer negativen Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit – objektiv oder auch subjektiv – bekannt sind. Chance ist eine Erwartungshaltung unter Unsicherheit, bei der mit einer positiven Zielabweichung gerechnet wird und die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit – objektiv oder auch subjektiv – bekannt sind.

Für alle Arten von Schätzungen und Berechnungen von Zahlenwerten, ist die gewählte Basis bedeutend für das damit eingegangene Chancen-Risikoverhältnis.

Die Ausprägungen von Wahrscheinlichkeiten können durch die Wahl von Verteilungsfunktionen beeinflusst werden. Neben diskreten stehen auch stetige Verteilungen zur Auswahl. Wenn es eindeutige Grenzen in den Bandbreiten gibt, sind geschlossene Verteilungen ansonsten offene Verteilungen einzusetzen. Liegt eine nicht konstante Verteilungsfunktion mit nur einem Maximum vor, spricht man von einer unimodalen Verteilung, andernfalls von einer multimodalen Verteilung. Hinsichtlich der Form der Verteilung treten symmetrische und schiefe Verteilungen auf. Bei schiefen Verteilungen wird in rechts- und linksschiefe Verteilungen unterschieden. Die Form von Verteilungsfunktionen können beispielsweise auf Basis von historischen Daten über Fittings ermittelt werden.

Zur weiteren Beschreibung und Interpretation von Verteilungen stehen statistische Kenngrößen zur Verfügung. Mit folgenden Lage- und Streuungsparametern erfolgt die Interpretation von Verteilungen und Histogrammen: Mittelwert, Modalwert, Median, Erwartungswert, M-Schätzer nach *Huber*, Varianz, Standardabweichung und Quantilwerte. Abhängigkeiten zwischen Berechnungsparametern können durch Korrelationen ausgedrückt werden. Die Integration von Korrelationen in die Berechnungen ist nur dann sinnvoll, wenn die Wechselbeziehungen aus der Realität abgeleitet wurden.

2.6 Literaturverzeichnis

- Alber, Alexander (2013). Risikomanagement in Bauunternehmen – Eine Analyse von Theorie und Praxis. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.
- Bartsch, Hans-Jochen (2004). Taschenbuch Mathematischer Formeln – 20. Auflage. München, Wien. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. (ISBN 3-446-22891-8)
- Biermann, Bernd; Grosser, Karin (1999). Taschenlexikon Finanzmathematik/Statistik. Hrsg.: Eller, Roland. Stuttgart. Schäffer-Poeschel Verlag. (ISBN 3-7910-1462-5)
- Blecken, Udo (1976). Die Produktions- und Kostentheorie im instationären Baubetrieb. In: Der Baubetriebsberater, Heft 4, 1/1976. Seite 199-210. Wiesbaden, Berlin. Bau-Verlag.
- Boeckelmann, Lukas; Mildner, Stormy-Annika (2011). Unsicherheit, Ungewissheit, Risiko – Die aktuelle wissenschaftliche Diskussion über die Bestimmung von Risiken. In: SWP-Zeitschriftenschau 2. Stiftung Wissenschaft und Politik – Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit. Berlin. Stiftung Wissenschaft und Politik, September 2011. (ISSN 1611-6380; Online unter: http://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/zeitschriften-schau/2011zs02_bkm_mdn_ks.pdf. Datum des Zugriffs: 20.11.2016)

- BROCKHAUS GmbH (1998). Brockhaus in fünfzehn Bänden – Band 7 – Is-Kon. Leipzig, Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH.
- BROCKHAUS GmbH (1999b). Brockhaus in fünfzehn Bänden – Band 3 – Chl-Eir. Leipzig, Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH.
- BROCKHAUS GmbH (1999c). Brockhaus in fünfzehn Bänden – Band 11 – Pfe-Rog. Leipzig, Mannheim. F.A. Brockhaus GmbH.
- BusinessDictionary.com. WebFinance, Inc.
<http://www.businessdictionary.com/definition/probabilistic.html>. Datum des Zugriffs: 12.11.2016.
- Čadež, Ivan (1998). Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 4 – Bauingenieurwesen, Nr. 149. Düsseldorf. VDI Verlag. (ISBN 3-18-314904-4)
- Chau, Kwong Wing (1995a): The validity of the triangular distribution assumption in Monte Carlo simulation of construction costs: empirical evidence from Hong Kong. In: Construction Management and Economics, Volume 13, Issue 1, 1995. Seite 15-21. London. Taylor & Francis Group. (ISSN 0144-6193)
- Czado, Claudia; Schmidt, Thorsten (2011). Mathematische Statistik – Statistik und Ihre Anwendungen. Hrsg.: Dette, Holger; Härdle, Wolfgang. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-17261-8)
- DeMarco, Tom; Lister, Timothy (2003). Bärentango – Mit Risikomanagement Projekte zum Erfolg führen. München, Wien. Carl Hanser Verlag. (ISBN 3-446-22333-9)
- Faes.de
<http://www.faes.de/Basis/Basis-Statistik/Basis-Statistik-Korrelation-Re/basis-statistik-korrelation-re.html>. Datum des Zugriffs: 11.11.2016.
- Faes.de
<http://www.faes.de/Basis/Basis-Lexikon/Basis-Lexikon-Multivariate/Basis-Lexikon-Faktorenanalyse/basis-lexikon-faktorenanalyse.html>. Datum des Zugriffs: 11.11.2016.
- Flemming, Christian; Netzker, Markus; Schöttle, Annett (2011). Probabilistische Berücksichtigung von Kosten- und Mengenrisiken in der Angebotskalkulation. In: Bautechnik 88 (2011), Heft 2, Seite 94-101. Berlin. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG.
- Gigerenzer, Gerd (2013). Risiko – Wie man die richtigen Entscheidungen trifft – 3. Auflage. München. C.Bertelsmann Verlag. (ISBN 978-3-570-10103-2)
- Girmscheid, Gerhard; Motzko, Christoph (2013). Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft – Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung – 2. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-36637-6)
- Gottschalk-Mazouz, Niels (2011). Risiko. In: Handbuch Ethik. Hrsg.: Düwell, Marcus; Hübenthal, Christoph; Werner, Micha H. Stuttgart, Weimar. Metzler-Verlag. (ISBN 978-3-476-02388-9)
- Henze, Norbert (2012). Stochastik für Einsteiger – Eine Einführung in die faszinierende Welt des Zufalls – 9. Auflage. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag. (ISBN 978-3-8348-1845-4)
- Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 2 (1972). D-F. Hrsg.: Ritter, Joachim. Basel, Stuttgart. Schwabe & Co Verlag. (ISBN 3-7965-0115-X)

- Historisches Wörterbuch der Philosophie – Band 7 (1989). P-Q. Hrsg.: Ritter, Joachim; Gründer, Karlfried. Basel, Stuttgart. Schwabe & Co Verlag. (ISBN 3-7965-0115-X)
- Hofstadler, Christian (2012). Risikofaktor Baugrund – Risikofaktoren aus technischer und stochastischer Sicht. Vortrag beim ZT-Forum. Graz, 2012.
- Hofstadler, Christian (2014a). Produktivität im Baubetrieb – Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-41632-3)
- Holler, Manfred J.; Illing, Gerhard (2006). Einführung in die Spieltheorie – 6. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN-13 978-3-540-27880-1)
- Horx Zukunftsinstitut GmbH (2010). Prognose – Prophezeiung – Vision – Semantische Unterschiede von Zukunfts-Aussagen. 2010. (Online unter: <http://www.horx.com/Zukunftsforschung/Docs/01-G-09-Prognose-Vision-Prophezeiung.pdf>. Datum des Zugriffs: 18.11.2016)
- <http://scoop.me/hashtags/orf>. Datum des Zugriffs: 31.08.2016.
- Jonen, Andreas (2007). Semantische Analyse des Risikobegriffs – Strukturierung der betriebswirtschaftlichen Risikodefinitionen und literaturempirische Auswertung – Beiträge zur Controlling-Forschung – Nr. 11 – 2. Auflage. Hrsg.: Lingnau, Volker. Lehrstuhl für Unternehmensrechnung und Controlling der Technischen Universität Kaiserslautern, 08/2007. (ISSN 1612-3875)
- Kaplan, Stanley; Garrick, John (1981). On The Quantitative Definition of Risk. In: Risk Analysis Vol. 1, No. 1. Seite 11-27. Society of Risk Analysis.
- Knight, Frank Hyneman (1971). Risk, Uncertainty and Profit. Chicago, London. University of Chicago Press. (ISBN 0-226-44690-5)
- Knorrenschild, Michael (2013). Numerische Mathematik – Eine beispielorientierte Einführung – 5. Auflage. Hrsg.: Engelmann, Bernd. München. Carl Hanser Verlag. (ISBN 978-3-446-43389-2)
- Krempl, Simone (2012). Korrelationen bei Aufwandswerten für Schal- und Bewehrungsarbeiten. Masterarbeit. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.
- Kummer, Markus (2015a). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten bei der Ermittlung von Baukosten und Bauzeiten – Deterministische und probabilistische Betrachtungen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.
- Kummer, Markus (2015b). Aggregierte Berücksichtigung von Produktivitätsverlusten. In: Tagungsband – 26. BBB-Assistententreffen – Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauverfahrenstechnik. Hrsg.: Berner, Fritz. Seite 167-183. Stuttgart. Institut für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart. (ISBN 978-3-9814355-7-3)
- Kummer, Markus; Hofstadler, Christian (2013). Einsatz der Monte-Carlo-Simulation zur Berechnung von Baukosten. In: bau aktuell, 4. Jahrgang, Heft Nr. 5, September 2013. Seite 178-188. Wien. Linde-Verlag Ges.m.b.H. (ISSN 2077-4737)
- Köhler, Jochen (2012). 2. Grundlagen Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung. Vorlesungsfolien. Seminar an der Technischen Universität Graz: ‚Risiko und Sicherheit im Bauwesen‘. Graz, 2012.

- Laux, Helmut; Gillenkirch, Robert M.; Schenk-Mathes, Heike Y. (2012). Entscheidungstheorie – 8. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-23511-5)
- Lechner, Hans (2010). Kostenplanung, Normen, Regelwerke – Projektmanagement in der Bau- und Immobilienwirtschaft – Bauprojektmanagement LEVEL D – 1. Auflage. Hrsg.: Lechner, Hans; Heck, Detlef. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. (ISBN 978-3-85125-099-2)
- Lederer, Siegfried (1982). Die Mittelbereitstellung für Bauleistungen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Planung. Dissertation. Institut für Bauingenieurwesen IV Tunnelbau und Baubetriebslehre der Technischen Universität München.
- Link, Doris (1999). Risikobewertung von Bauprozessen – Modell ROAD – Risk and Opportunity Analysis Device. Dissertation. Wien. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Wien.
- Luhmann, Niklas (1991). Soziologie des Risikos. Berlin, New York. Walter de Gruyter Verlag. (ISBN 3-11-012939-6)
- National Hurricane Center: http://www.nhc.noaa.gov/archive/2005/KATRINA_graphics.shtml. Datum des Zugriffs: 12.11.2016.
- Oberndorfer, Wolfgang; Jodl, Hans Georg et al. (2001). Handwörterbuch der Bauwirtschaft – ON V 208 – 2. Auflage. Wien. ON Österreichisches Normungsinstitut. (ISBN 3-85402-072-4)
- Open, Ralf-Peter et al. (2012). Risikoorientierte Bauprojekt-Kalkulation – Eine innovative Methode zur Risikobeherrschung und Eindämmung von Ausreißer-Projekten. Hrsg.: BRZ Deutschland GmbH. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag. (ISBN 978-3-8348-1892-8).
- ÖNORM B 1801-1 (Ausgabe: 2015-12-01) Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung.
- ÖNORM ISO 31000 (Ausgabe: 2010-02-01) Risikomanagement – Grundsätze und Richtlinien.
- ÖNORM S 2410 (Ausgabe: 2010-01-01) Chancen- und Risikomanagement – Analyse und Maßnahmen zur Sicherung der Ziele von Organisationen.
- ONR 49000 (Ausgabe: 2014-01-01) Risikomanagement für Organisationen und Systeme – Begriffe und Grundlagen – Umsetzung von ISO 31000 in die Praxis.
- Sachs, Michael (2013). Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik für Ingenieurstudenten an Fachhochschulen – 4. Auflage. Hrsg.: Engelmann, Bernd. München. Carl Hanser Verlag. (ISBN 978-3-446-43732-6)
- Scherer, Raimar (2010). Mefisto – Partnerschaftliche Nutzung von Multi-Modellinformationen zur Steuerung, Simulation und Führung von Bauprojekten. In: MEFISTO: Management – Führung – Information – Simulation im Bauwesen – Tagungsband 1. Mefisto Kongress – 21. Oktober 2010, Dresden – Veranstaltungen des Instituts für Bauinformatik – Heft 2. Hrsg.: Scherer, Raimar; Schapke, Sven-Eric. Seite 9-36. Dresden. Institut für Bauinformatik der Technischen Universität Dresden. (ISBN 978-3-86780-187-4)
- Schubert, Eberhard (1971). Die Erfäßbarkeit des Risikos der Bauunternehmung bei Angebot und Abwicklung einer Baumaßnahme – Heft 7. Hrsg.: Jebe, Hans. Lehrstuhl für Baubetrieb und Baubetriebswirtschaft der Technischen Universität Hannover. Düsseldorf. Werner-Verlag. (ISBN 3-8041-3303-7)

- Schulz, Josef (1980). Risikorechnung bei der Preiskalkulation – Ein Weg zur Ermittlung der maximalen Überschreitung von Kostenvoranschlägen. Wiesbaden, Berlin. Bauverlag GmbH. (ISBN 3-7625-1303-1)
- Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Prognose. Online unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4546/prognose-v11.html>. Datum des Zugriffs: 11.11.2016
- Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Risiko. Online unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/6780/risiko-v15.html>. Datum des Zugriffs: 23.11.2016.
- Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Ungewissheit. Online unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55049/ungewissheit-v3.html>. Datum des Zugriffs: 18.10.2016.
- Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Unsicherheit. Online unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9325/unsicherheit-v13.html>. Datum des Zugriffs: 22.11.2016.
- Statista – Das Statistik-Portal:
<http://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/80/lageparameter/>.
Datum des Zugriffs: 14.11.2016.
- Stempkowski, Rainer; Waldauer, Evelin (2013). Risikomanagement Bau – Methoden und Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung von Risiko- und Chancenmanagement bei Bauprojekten. Wien. Netzwerk – Der Verlag. (ISBN 978-3-902918-00-0)
- Stowasser, Joseph M. et al. (1998). Stowasser – Lateinisch - deutsches Schulwörterbuch. Wien, München. Verlag Holder-Pichler-Tempsky und R. Oldenbourg Verlag GmbH. (ISBN Verlag Holder-Pichler-Tempsky 3-209-01495-7; ISBN R. Oldenbourg Verlag 3-486-13405-1)
- Suhl, Leena; Mellouli, Taïeb (2013). Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen – 3. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. (ISBN 978-3-642-38936-8)
- Taleb, Nassim Nicholas (2007). The Black Swan – The Impact of the Highly Improbable. New York. Random House. (ISBN 978-1-4000-6351-2)
- Universität Siegen (2011). Vorlesungsfolien: ‚Marktforschung‘ – Sommersemester 2011. (Online unter: <http://slideplayer.de/slide/644669/#>. Datum des Zugriffs: 20.10.2016)
- Voigt, Matthias (2008). Grundlagen der Probabilistik. Vortrag im Zuge des 1. Dresdner Probabilistik-Workshops der Professur für Turbomaschinen und Strahlantriebe am Institut für Strömungsmechanik. Technische Universität Dresden. 09. bis 10. Oktober 2008.
(Online unter: http://www.probabilistik.de/vortrag/Vortrag0102_Voigt_TUD.pdf.
Datum des Zugriffs: 09.11.2016)
- Wiggert, Marcel (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. Dissertation. Graz. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Graz.
- Yoe, Charles (2012). Primer on Risk Analysis – Decision Making under Uncertainty. Boca Raton, London, New York. CRC Press – Taylor & Francis Group. (ISBN 978-1-4398-5763-2)

Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft
Für Auftraggeber und Auftragnehmer in
Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft
Hofstadler, C.; Kummer, M.
2017, XXXIV, 718 S. 423 Abb. in Farbe., Hardcover
ISBN: 978-3-662-54318-4