Hofstadler Christian

Berechnung der Bauzeit

Systematischer Umgang mit Projektunsicherheiten

Die Bauzeit als wesentlicher Faktor des Projekterfolgs lässt sich insbesondere in frühen Projektphasen nur schwer abschätzen. Zudem treffen unterschiedliche Anforderungen von AN und AG im Hinblick auf die Baudauer aufeinander. Für die Berechnung der Bauzeit sind verschiedene Ansätze verfügbar. Der vorliegende Artikel zeigt wie daraus abgeleitet eine systematische Betrachtung von Risiken und Chancen erfolgen kann.

Die Bauzeit ist ein wesentlicher Indikator für den Projekterfolg, da sowohl die Baukosten als auch die Qualität wesentlich von der Bauzeit beeinflusst werden. Definiert ist die Bauzeit in der globalen Betrachtung vom Baubeginn bis zum Bauende. In der lokalen Betrachtung werden die Bauzeiten einzelner Bauphasen ermittelt. In der Detailbetrachtung werden einzelne Gewerke sowie Vorgänge in der Bauablaufplanung erfasst. Werden Teilzeiten für verschiedene Ablaufstufen ermittelt, folgt die gesamte Bauzeit nach Vernetzung der Stufen durch Anordnungsbeziehungen. Für die Festlegung von Anordnungsbeziehungen sind Kenntnisse über technologische und fertigungstechnische Zusammenhänge der Produktionsfaktoren erforderlich.

Vorgegeben wird die Bauzeit i.d.R. vom Bauherrn. Eingehalten werden muss die Bauzeit von den Auftragnehmern bzw. in weiterer Folge von deren Subunternehmern. Der Bauherr hat im Rahmen seiner vertraglichen Verpflichtungen diejenigen Voraussetzungen zu schaffen, die das Einhalten der Bauzeit gewährleisten. Er muss an der Verwirklichung der Vertragsziele mitwirken. Wenn der Bauherr für die Planung zuständig ist, sind seine Planer für einen funktionierenden Planvorlauf und die entsprechende Planungsqualität verantwortlich. Bauzeit, Baukosten, Qualität und Quantität stehen miteinander in Wechselbeziehung. Die Bauzeit wirkt auf die Termine, Qualität, Kosten und u.U. auch auf die Quantität (wenn z.B. aufgrund von Bauzeitverzögerungen auf Teile des Bauwerks verzichtet wird).

Die Auftragnehmer sind bestrebt ihre Produktionsfaktoren effizient einzusetzen, damit die Vertragsziele erreicht werden. Wenn die Bauzeit eingehalten wird, kann das Bauwerk zeitgerecht in die Nutzung des Bauherrn übergehen. Wird das Bauwerk bzw. Teile davon weitergegeben, ist der Bauherr natürlich bestrebt seine vertraglichen Pflichten gegenüber seinen Mietern/Käufern zu erfüllen. Versagt ein Glied in der Planungs- oder Produktionskette, kann die Einhaltung der Bauzeit gefährdet werden bzw. sind zusätzliche Kosten für deren Einhaltung notwendig.

Zur Berechnung der Bauzeit werden Quantitäten und Leistungswerte benötigt. Wird das Projekt als Ganzes betrachtet, wird beispielsweise der Bruttorauminhalt im Hochbau oder die Tunnellänge im Verkehrsinfrastrukturbereich zur Quantifizierung herangezogen. Die Quantitäten ergeben sich aus den Plänen. Die Präzision in der Quantifizierung hängt von der betrachteten Projektphase und dem damit einhergehenden Detaillierungsgrad ab. In frühen Projektphasen können die Quantitäten nur in größeren Bandbreiten angegeben werden. Aus diesen Unsicherheiten [1] heraus und aufgrund dessen, dass die Art und der Umfang der Leistung sowie die Umstände der Leistungserbringung nicht genau beschrieben werden können bzw. feststellbar sind, lässt sich auch der Einsatz der Produktionsfaktoren nur in einer Bandbreite abschätzen. Diese Unsicherheiten sind in früheren Projektphasen höher als in späteren. Anhand des Informationstandes wird versucht mögliche Kombinationen der Produktionsfaktoren zu entwickeln, um damit Ansätze für die Produktionsleistung zu erhalten. Mit der Produktionsleistung kann einerseits der Bauherr auf die Bauzeit schließen und andererseits die Bieter bzw. späteren Auftragnehmer auf den erforderlichen Einsatz der Produktionsfaktoren.

Je nach betrachteter Projektphase werden Werte für die Bauzeit anhand globaler Kennzahlen berechnet oder es wird beispielsweise detaillierter auf Leistungsgruppen oder Vorgänge eingegangen.

Die Vorgaben des Bauherrn können als Einwirkungen auf den Bauprozess betrachtet werden; alle Maßnahmen des Auftragnehmers den Einwirkungen entgegenzuwirken (den Vertrag zu erfüllen) als Widerstand. Die Einwirkungen des Bauherrn resultieren in einer Produktionsmenge und der Widerstand in der Produktionsleistung. Im Zuge von detaillierteren Betrachtungen wird in verschiedene Produktionsmengen und Produktionsleistungen differenziert. In beiden Sphären sollten Reserven berücksichtigt werden. Diese Betrachtungsweise ist in Anlehnung zur Baustatik zu sehen. In der Baustatik wird das semi-probabilistische Sicherheitskonzept mit Teilsicherheits-

beiwerten auf Widerstands- und Beanspruchungsseite verwendet. Analog dazu sollte dieses Sicherheitskonzept auch auf die Berechnung der Bauzeit und der Baukosten angewendet werden.

Im Beitrag wird auf die deterministische Methode, auf die vereinfachte stochastische Methode und auf die Anwendung der Monte-Carlo Simulation als stochastische Methode eingegangen. Mit zunehmendem Detaillierungsgrad steigen der Informationsgehalt über das Projekt und der Rechenaufwand mit dem Resultat, dass die Bandbreite der Bauzeit abnimmt und damit an Genauigkeit gewinnt. Anhand dieser Bandbreite werden letztendlich die Bauzeit sowie die Teilzeiten für die einzelnen Bauwerksphasen festgelegt.

1 SITUATIONSANALYSE

Die Art der Leistung, die Umstände der Leistungserbringung, die Menge und Qualität sowie die Bauzeit sind bestimmende Faktoren für die Höhe der Kosten und in weiterer Folge der Preise. Der Bauherr kann durch die Vorgabe der Bauzeit die Kosten und damit auch die Preisbildung beeinflussen. Zu kurze Bauzeiten (Grenzwerte für den produktiven Einsatz der Produktionsfaktoren sind unter-/ überschritten) führen zu Produktivitätsverlusten und auch zu höheren Kosten. Die Grenzen für Produktivitätsverluste sind teilweise noch nicht durchgängig bekannt oder umstritten.

Wenn „normale“ (die Produktionsfaktoren können mit einer „Normalproduktivität“ eingesetzt werden) Bauzeiten vorgegeben sind, werden die Auftragnehmer versuchen ihre Produktionsfaktoren optimal zu kombinieren, damit sie bei vorgegebenem Budget die geschuldete Leistung zu den geringsten Kosten erbringen können. Das Risiko, dass Bauzeit und Baukosten nicht eingehalten werden, sinkt.

Meist werden auf der Bauherrenseite bei der Ermittlung der Bauzeit, welche vertraglich festgeschrieben wird, die beschränkenden baubetrieblichen Randbedingungen nicht bzw. unzureichend berücksichtigt. Randbedingungen aus z.B. Bauwerksbedingungen und Baustellenbedingungen haben aber wesentlichen Einfluss auf leistungsbestimmende Größen, wie etwa auf die maximale Anzahl an einsetzbaren Arbeitskräften (diese wird durch die Forderung der Mindestarbeitsfläche je Arbeitskraft beschränkt, um gegenseitige Behinderungen zu vermeiden) bzw. auf die maximale Anzahl an einsetzbaren Geräten. Die Vernachlässigung dieser Randbedingungen kann zu empfindlichen Störungen in der Bauausführung führen, da die notwendige Produktionsleistung nicht erreicht werden kann.

Störungen gehören zu den Risiken und sind ständige Begleiter in der Ausführung der Bauarbeiten. Gestörte Bauabläufe resultieren auf der Auftragnehmerseite oft aus einer unzureichenden Arbeitsvorbereitung (z.B. unzutreffende Verfahrenswahl, falsche Beziehungen zwischen den Vorgängen, unzureichende Kommunikation, unzureichendes Logistikkonzept, etc.) vor Baubeginn. Können solche Störungen nicht behoben werden, sind dadurch Defizite bei Kosten, Zeit, Qualität und in weiterer Folge bei der Zufriedenheit des Bauherrn zu erwarten. Die Auswirkungen der Verfehlungen hängen von den Dimensionen der Störungen ab.
Auf der Einwirkungsseite (AG) ergeben sich die Unsicherheiten maßgeblich aus den Bauwerks-, Baustellen- und Vertragsbedingungen. Die größten Unsicherheiten auf der Widerstandseite (AN) folgen aus den Produktionsfaktoren selbst und deren Kombination. Weiters bestehen Unsicherheiten aus der neutralen Sphäre (Umwelt, Behörden, etc.). Das Ziel ist, den systematischen Umgang mit Risiken und Chancen im Baubetrieb und der Bauwirtschaft zu ermöglichen.

In der Baupraxis werden beispielsweise für Kosten folgende Kalkulationsgenauigkeiten angegeben:

> *Abb 1*

Diese Ungenauigkeiten sind sinngemäß auch auf die Berechnung der Bauzeit übertragbar.

Anhand des Beitrags sind Berechnungsmethoden für die Bauzeit systematisch dargestellt. Weiters sollen in der Berechnung begrenzende baubetriebliche Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Neben deterministischen Berechnungsansätzen sollen auch stochastische Ansätze dargelegt werden. Bereits Blecken [3] führt in seinen Ausführungen an, dass die Annahme eines deterministischen Produktionsgeschehens das Produktionsmodell zu sehr vereinfacht. Er sieht durch Berücksichtigung der Stochastik eine wesentliche Ergebnisverbesserung.

Kalkulationsungenauigkeit in Abhängigkeit des Verfahrens:	
Nach m³ umbauten Raum	± 25 - 30 %
Nach m² Nutzfläche	± 20 - 25 %
Nach Gewerkewägung, Elementaufgliederung	± 10 - 15 %
Nach Positionsbeschreibungen	± 5 - 10 %
Zuschlagskalkulation über die Endsumme	± 5 %

Abb 1: Kalkulationsgenauigkeit in Abhängigkeit vom Verfahren [Hochtief] [2]

2 DISPOSITIVE UND ELEMENTARE PRODUKTIONSFAKTOREN

Die notwendige Produktionsleistung sollte unter Erreichung der höchst möglichen Produktivität erzielt werden und hängt vom effizienten Einsatz der Produktionsfaktoren ab. Zur Beurteilung der Ergiebigkeit einzelner Arbeiten oder des gesamten Produktions- bzw. Wirtschaftsprozesses

wird die Produktivität als die wesentliche Kennzahl herangezogen. Die Produktivität wird durch das Verhältnis von Output zu Input ausgedrückt und von komplexen Zusammenhängen geprägt. Das Maß der Gesamtproduktivität wird durch die Effizienz in der Kombination der elementaren Produktionsfaktoren bestimmt. Die elementaren Produktionsfaktoren setzen sich aus der Arbeit, den Betriebsmitteln und den Stoffen zusammen. Wesentlich beeinflusst (geplant, gesteuert, kontrolliert, organisiert, dokumentiert etc.) werden die elementaren Produktionsfaktoren von den dispositiven Produktionsfaktoren. Alle Komponenten sind ganzheitlich und vernetzt zu betrachten und nicht einseitig zu optimieren.

> *Abb. 2*

Die Gesamtproduktivität hängt vom effizienten Zusammenwirken der dispositiven und elementaren Produktionsfaktoren ab. Wie gut die Kombination der elementaren Faktoren funktioniert, kann anhand von Produktivitätskennzahlen (harte Faktoren) gemessen werden. Bei den dispositiven Faktoren gestaltet sich der Messprozess weitaus schwieriger, da es sich dabei im Wesentlichen um weiche Faktoren handelt. Indirekt kann über das Ergebnis der elementaren Produktionsfaktoren auf die Qualität der dispositiven Leistungen geschlossen werden. Die ‚Wissensarbeit' ist ein wesentlicher Bestandteil des dispositiven Bereichs, der den weichen Produktionsfaktoren zuzurechnen ist. Durch die ‚Wissensarbeit' sollen Erfahrungen aus vergangenen Projekten im Umgang mit Risiken und Chancen systematisch erfasst und analysiert sowie mit den neuesten Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis für neue Aufgabenstellungen angewendet werden.

Struktur- und Prozessschnittstellen finden sich zwischen den beiden Gruppen der Produktionsfaktoren und innerhalb jeder Gruppe. Weiters gibt es Schnittstellen zur Umwelt und zum Umfeld. Die Gesamtproduktivität hängt auch vom Funktionieren dieser Schnittstellen ab. Dafür sind die dispositiven Produktionsfaktoren zuständig.

Je detaillierter der Gesamtprozess betrachtet wird, desto mehr Schnittstellen entstehen, die es hinsichtlich der Risiken und Chancen zu bewerten gilt.

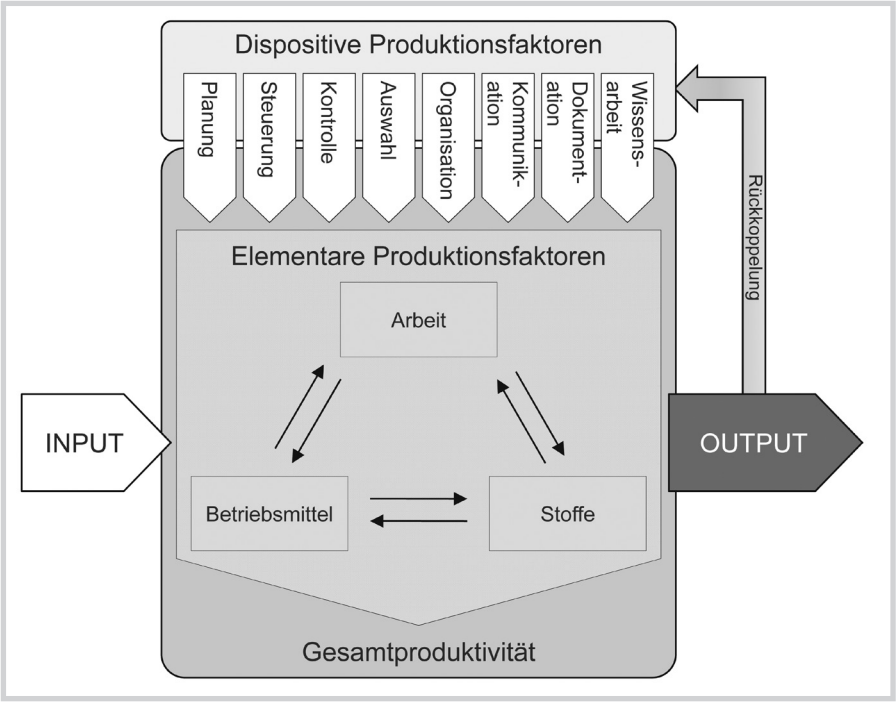

Abb. 2: Elementare und dispositive Produktionsfaktoren [Hofstadler] [4])

3 ANGEWANDTE QUANTITATIVE METHODEN

Zur Analyse des Risikoportfolios stehen qualitative und quantitative Methoden zur Auswahl. Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt auf quantitativen Methoden, die sich wiederum in deterministische und stochastische Verfahren gliedern.

Die herkömmlichste Methode im Bauwesen ist die Berechnung anhand von Berechnungsgleichungen. Weniger verbreitet ist die vereinfachte stochastische 3-Punkt-Methode. Selten angewendet wird die Monte-Carlo Simulation.

3.1 GRUNDLAGEN ZUR BERECHNUNG DER BAUZEIT FÜR DIE AUSFÜHRUNGSPHASE

Die Anzahl der Parameter zur Berechnung der Bauzeit hängt von der Projektphase ab. Für grobe Bauzeitermittlungen werden einige wenige Werte benötigt und für detaillierte Betrachtungen sind je nach Betrachtungstiefe und -breite mehrere hundert Werte für die Berechnungen erforderlich. Im Folgenden werden die Berechnungsgleichungen für Dauer, Leistung und Gesamt-Aufwandswert dargestellt und beschrieben, die für eine grobe Berechnung in der Phase Bauwerk-Rohbau erforderlich sind. Diese Berechnungsgleichungen bilden die Basis für alle weiteren Berechnungsmethoden. Als Produktionsmenge werden Kubikmeter Stahlbeton herangezogen.

bauzeit

Die vorgestellten Berechnungsmethoden ersetzen keineswegs Detailbetrachtungen zur Berechnung von Bauzeit und Baukosten.

3.2 DETERMINISTISCHER ANSATZ

Die Länge der Bauzeit hat wesentlichen Einfluss auf die Bauausführung und sehr wohl auch auf die Arbeitsvorbereitung. Bei ‚normalen' Bauzeiten, bei denen die Grenzen für den wirtschaftlichen Einsatz der Produktionsfaktoren nicht überschritten werden müssen, können diese Faktoren noch optimal verplant werden. Je kürzer die Bauzeit, desto höher auch die Ansprüche an die Arbeitsvorbereitung. Bei baubetrieblich zu kurzer Bauzeit muss beispielsweise überlegt werden, wie fehlende, weil nicht installierbare, Krane durch andere Transportmittel oder andere Bauweisen kompensiert werden können.

„In der Regel werden für Bauprojekte hinsichtlich des produktiven Einsatzes der Produktionsfaktoren zu kurze Bauzeiten vorgegeben. Den kurzen Bauzeiten stehen aber lange Vorlaufzeiten für Wettbewerbe und die Planung gegenüber." [5]

3.2.1 Berechnung der Dauer für die Stahlbetonarbeiten

Die Dauer wird in der deterministischen Vorgangsweise als skalare Größe berechnet. Für jeden Berechnungsdurchgang werden skalare Größen für die jeweiligen Parameter eingesetzt. Als Eingangsgrößen für die Berechnung können beispielsweise Basiswerte herangezogen werden. Fußend auf diese Basiswerte werden hinsichtlich der Chancen- und Risikobewertung die endgültigen Werte für den Berechnungsdurchgang festgelegt.

Über Glg. 1 wird mit den Durchschnittswerten für die Betonmenge BT_M [m³] und Leistung L_{STB} [m³/d] die Dauer D_{STB} [d] berechnet.

$$D_{STB} = \frac{BT_M}{L_{STB}}$$

Zur Berücksichtigung von Störungen sollte in der Berechnung ein Puffer $PU_{STB,Z}$ [%] eingerechnet werden, was zu folgender Gleichung führt.

$$D_{STB,PU} = D_{STB} * \left(1 + \frac{PU_{STB,Z}}{100}\right)$$

Die Höhe des Puffers hängt von der Komplexität des Bauwerks und der Anzahl der Winterbauphasen ab. Erfahrungsgemäß sollte der Puffer zwischen 5 und 15 % liegen. Bei ‚normaler' Bauzeit sollte der Puffer bei 5 % und bei sehr kurzer Bauzeit zumindest bei 15 % liegen. Der Puffer berücksichtigt beispielsweise zusätzliche Leistungen oder Projektunwissenheit.

3.2.2 Tägliche Leistung für die Stahlbetonarbeiten

Die durchschnittliche tägliche Leistung für die Stahlbetonarbeiten L_{STB} [m³/d] wird nach Glg. 3 berechnet. Im Zähler ergibt die Multiplikation der Anzahl der Arbeitskräfte AK_{STB} [Std/h] mit der täglichen Arbeitszeit AZ_{STB} [h/d] die täglichen Lohnstunden. Im Nenner wird der Gesamt-Aufwandswert AW_{STB} [Std/m³] für die Stahlbetonarbeiten eingesetzt.

$$L_{STB} = \frac{AK_{STB} * AZ_{STB}}{AW_{STB}}$$

In Abb. 3 sind maßgebende Einflüsse auf die Leistung dargestellt. Diese Darstellung dient als beispielhafte Darstellung für eine qualitative Erfassung des Risiken- und Chancenportfolios.

Die durchschnittliche Leistung kann für das gesamte Bauwerk oder einzelne Bauteilgruppen berechnet werden.

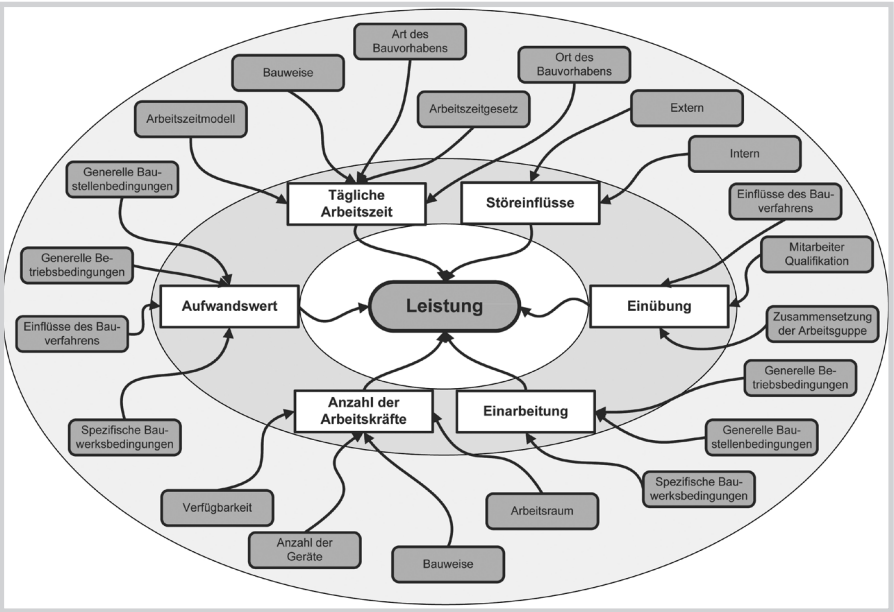

Abb. 3: Maßgebende Einflüsse auf die Leistung [Hofstadler] [6])

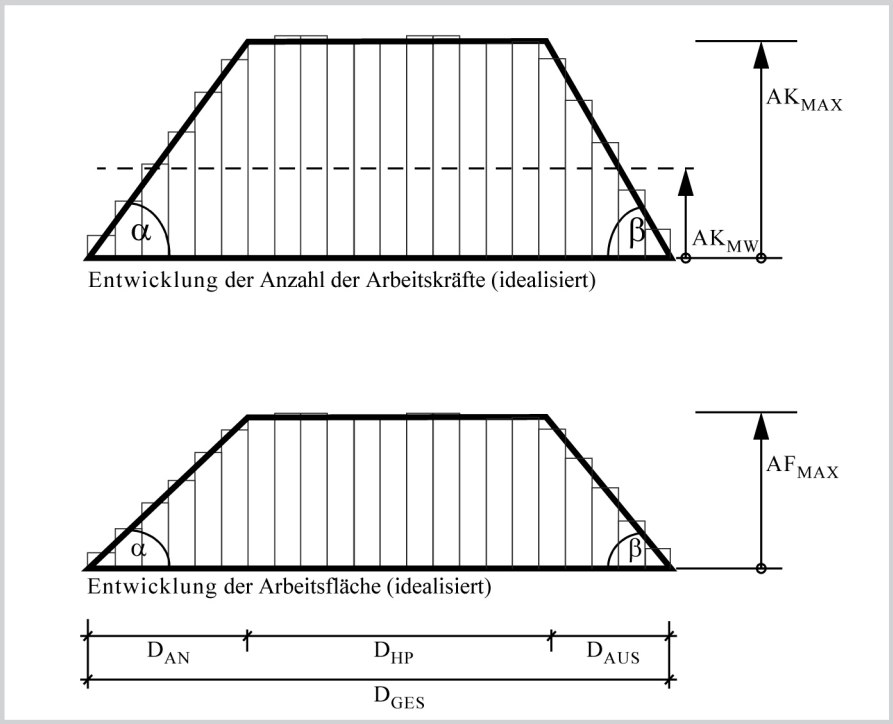

Abb. 4: Zusammenhang zwischen Anzahl der Arbeitskräfte und zur Verfügung stehender Arbeitsfläche für die Stahlbetonarbeiten (Hofstadler [7])

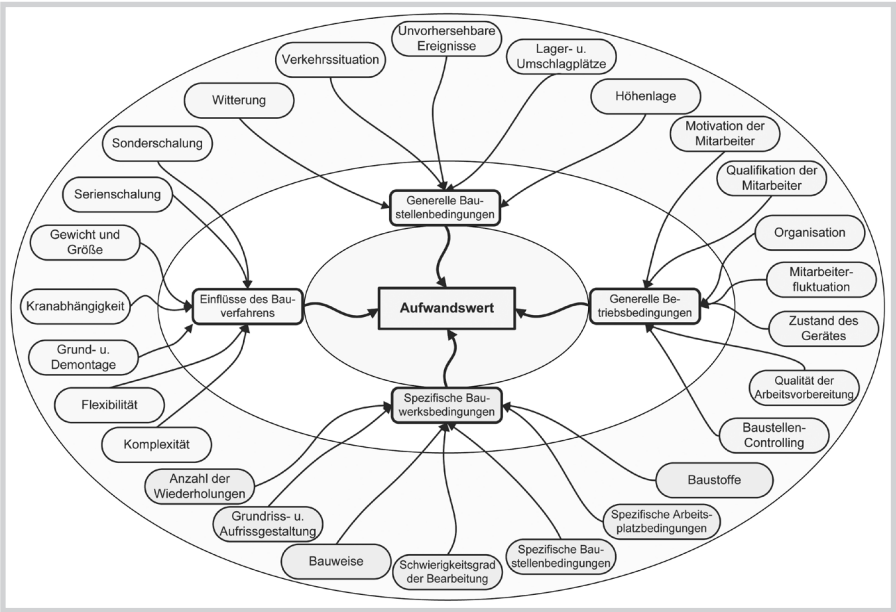

Abb. 5: Maßgebende Einflüsse auf Aufwandswerte – Auswahl für Schalarbeiten [Hofstadler] [8]

In Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad des Projektes und der Projektphase steigen in der Regel die Genauigkeit der Eingangsgrößen und damit das Berechnungsergebnis.

3.2.2.1 Anzahl der Arbeitskräfte

Die Anzahl der maximal einsetzbaren Arbeitskräfte ist im Hochbau immer im Zusammenhang mit der zur Verfügung stehenden Arbeitsfläche und der Anzahl der einsetzbaren Krane zu sehen. In der Literatur werden für die Anzahl der Arbeitskräfte je Kran und Bauweise Anhaltswerte angegeben.

Die Anzahl der Arbeitskräfte verläuft i.d.R. nicht konstant über die Bauzeit. Der Arbeitskräftebedarf steigt mit der Anlaufphase (Dauer = D_{AN}) bis zum Maximalwert und verläuft dann relativ konstant. Mit Beginn der Auslaufphase (Dauer = D_{AUS}) sinkt die Anzahl der Arbeitskräfte wieder.

> *Abb. 4*

Einerseits folgt der notwendige Ressourceneinsatz (Arbeitskräfte und Geräte) aus der zur Verfügung stehenden Bauzeit und der Produktionsmenge, andererseits ergibt sich die kürzest mögliche Bauzeit aus dem Maximum an einsetzbaren Ressourcen. Die Arbeitskräfteanzahl ist immer im Zusammenhang mit dem zur Verfügung stehenden Arbeitsraum und der Anzahl an installierbaren Geräten zu sehen. Die maximale Anzahl an einsetzbaren Arbeitskräften AK_{MAX} im Hochbau hängt z.B. von der maximalen Anzahl an einsetzbaren Kranen ab.

In Abb. 4 ist der Zusammenhang in der Entwicklung der ‚bearbeitbaren' Arbeitsfläche AF_{MAX} und der Anzahl der Arbeitskräfte dargestellt. Die Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs und der Arbeitsfläche sind idealisiert über die Bauzeit (Gesamtdauer für die Stahlbetonarbeiten = D_{GES} [d]) abgebildet. Zur Vereinfachung wurde eine trapezförmige Entwicklung

bauzeit

angenommen. Die „Praxistauglichkeit“ dieser Vereinfachung wurde anhand von Ressourcenplänen für verschiedene Bauwerke im Bereich des Hochbaus überprüft. Es konnte dabei eine gute Annäherung zum Trapezmodell festgestellt werden.

3.2.2.2 Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten

Für die Stahlbetonarbeiten wird der Gesamt-Aufwandswert AW_{STB} [Std/m³], in dem die Schal-, Bewehrungs- und Betonarbeiten zusammengefasst sind, nach Glg. 4 berechnet:

$$AW_{STB} = AW_{S,MW} * s_{g,bwk} + AW_{BW,MW} * bw_{g,bwk} + AW_{BT,MW}$$

Im ersten Term steht das Produkt aus mittlerem Aufwandswert für die Schalarbeiten $A_{WS,MW}$ [Std/m²] und dem Schalungsgrad $s_{g,bwk}$ [m²/m³], im zweiten jenes aus mittlerem Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten $AW_{BW,MW}$ [Std/t] und dem Bewehrungsgrad $bw_{g,bwk}$ [t/m³] und im letzten Term der mittlere Aufwandswert für die Betonierarbeiten $AW_{BT,MW}$ [Std/m³].

In Glg.4 werden die Mittelwerte abgeschätzt oder genau berechnet. Eine genauere Berechnung erfolgt im Rahmen einer Detailbetrachtung. Je nachdem was betrachtet wird, kann der Gesamt-Aufwandswert für das gesamte Bauwerk oder für einzelne Bauteilgruppen berechnet werden. Die Genauigkeit der Ergebnisse steigt in der Regel mit zunehmender Betrachtungstiefe. Als Beispiele für die Einflüsse auf die Höhe der Aufwandswerte sind jene für die Schalarbeiten in Abb. 5 dargestellt.

> *Abb. 5*

Diese Darstellung dient als beispielhafte Darstellung für eine qualitative Erfassung des Risiken- und Chancenportfolios bezogen auf den Aufwandswert für die Schalarbeiten. Je nach Projektstadium wird das Portfolio mehr oder weniger verfeinert betrachtet.

Für eine grobe Betrachtung der Stahlbetonarbeiten wird der Gesamt-Aufwandswert für die Stahlbetonarbeiten herangezogen; für detaillierte Betrachtungen wird er in seine Parameter aufgesplittet und für jeden Parameter werden Werte angesetzt bzw. es kommt zu einer weiteren Zergliederung.

3.3 VEREINFACHTER STOCHASTISCHER ANSATZ

Für die vereinfachte stochastische Berechnungsmethode sind ebenfalls deterministische Berechnungsvorschriften zu erstellen. Allerdings wird für den Berechnungsdurchgang nicht jeweils ein Wert je Parameter benötigt, sondern drei Werte. Zusätzlich sind drei Werte für die Eintrittswahrscheinlichkeit zu wählen.

3.3.1 Flexible Methode

Für die jeweiligen Eingangswerte in die Berechnungsgleichungen werden jeweils drei Werte angesetzt, und zwar ein minimaler Wert, ein häufigster Wert und ein maximaler Wert. Diese Werte werden mit der jeweiligen, subjektiv festgelegten Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert. Durch Addieren der drei Produkte erhält man den subjektiv wahrscheinlichsten Wert.

Für die Eintrittswahrscheinlichkeit ($p_{EW,i}$) gilt: $\sum p_{EW,i} = 1$

3.3.2 PERT-Methode

Die PERT-Methode geht von einem festen Verteilungstyp aus, der BETA-Verteilung. Bei der PERT-Methode werden drei Eingangswerte zur Berechnung des gesuchten Wertes benötigt. Im Zähler werden der minimale und maximale Wert ungewichtet sowie der häufigste Wert mit 4 gewichtet eingesetzt. Die drei Werte werden addiert und daraus der gewichtete Mittelwert gebildet.

$$Dauer = \frac{1 * optimistischer\,Wert + 4 * häufigster\,Wert + 1 * pessimistischer\,Wert}{6}$$

Neben dieser symmetrischen Betrachtungsweise gibt es auch zwei asymmetrische Ansätze. Werner [9] führt in seiner Dissertation eine optimistische und pessimistische Berechnungsgleichung an.
Bei der optimistischen Berechnung wird der optimistische Wert höher gewichtet wie der pessimistische und die Berechnung erfolgt nach Glg. 7.

$$Dauer = \frac{2 * optimistischer\,Wert + 3 * häufigster\,Wert + 1 * pessimistischer\,Wert}{6}$$

Hingegen wird bei der pessimistischen Betrachtung der pessimistische Wert höher bewertet. Die Berechnung erfolgt nach Glg. 8.

$$Dauer = \frac{1 * optimistischer\,Wert + 3 * häufigster\,Wert + 2 * pessimistischer\,Wert}{6}$$

3.4 MONTE-CARLO SIMULATION

Die Monte-Carlo Methode ermöglicht beispielsweise die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Bauzeit. In einer frei wählbaren Anzahl an Iterationen generiert ein Software-Programm (im vorliegenden Fall @RISK) für die Eingangswerte Zufallswerte, welche in die jeweils vordefinierten Verteilungsdichtefunktionen eingesetzt werden, und kombiniert daraus nach einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift (die Berechnungsgleichungen der deterministischen Methode) die Verteilungsfunktion des Ergebnisses.

Eingabeparameter sind:

> Bandbreiten
> Wahrscheinlichster Wert (wenn aufgrund der gewählten Verteilungsfunktion möglich)
> Verteilungsfunktionen

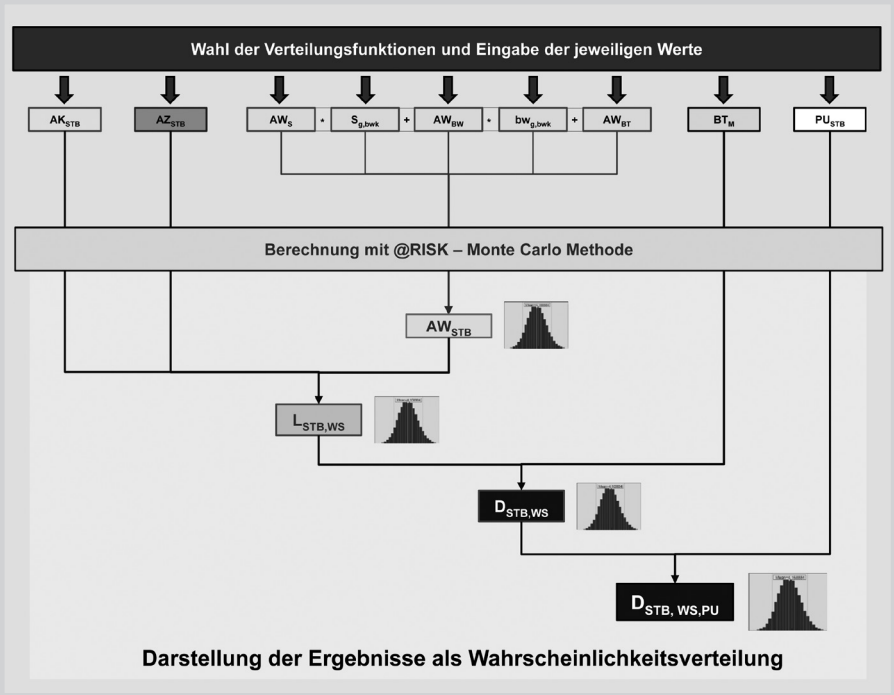

Abb. 6: Berechnungsmodus für die Monte-Carlo Simulation [Hofstadler] [10]

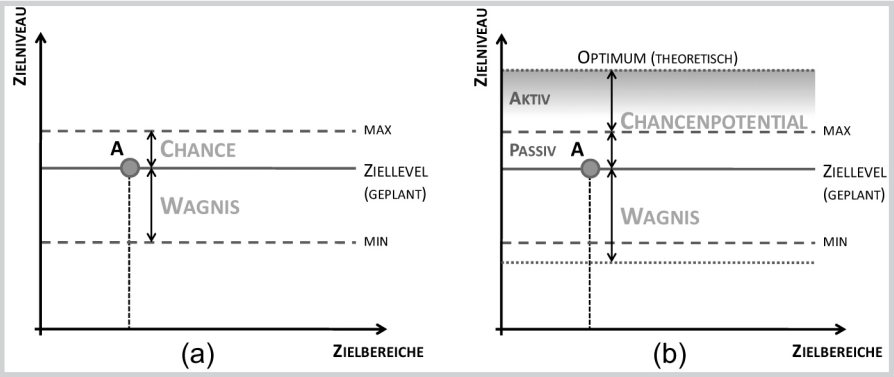

Abb. 7: Konzept von Wagnis und Chancen [Wiggert] [12]

Für die stochastische Berechnungsmethode werden einzelne ausgewählte Parameter mit einer Verteilungsfunktion belegt (z.B. Ablaufschema zur Berechnung der Bauzeit siehe Abb. 6). Die Verteilungsfunktionen sind so zu wählen, dass sie der Realität am nächsten kommen. Da es zu den einzelnen Parametern noch keine gesicherten charakteristischen Verteilungsfunktionen gibt, werden hier asymmetrische Dreiecke verwendet. Für die im Ablaufschema dargestellten Parameter werden jeweils Werte für den optimistischen und pessimistischen Wert sowie der wahrscheinlichste Wert angegeben.

> *Abb. 6*

Die Werte werden unter Berücksichtigung der baubetrieblichen und bauwerksspezifischen Randbedingungen festgelegt. Als Basis für die Werte können beispielsweise betriebsinterne Aufzeichnungen oder Angaben aus der Literatur (z.B. Arbeitszeitrichtwerte für den Hochbau) verwendet werden. Werden beispielsweise der Gesamt-Aufwandswert betrachtet und asymmetrische Dreiecksverteilungen herangezogen, wird bei den Aufwandswerten für Schalen, Bewehren sowie Betonieren ein wahrscheinlichster Wert festgelegt. Von diesen Werten ausgehend werden die Chancen und Risiken im Zuge einer Situationsanalyse bewertet, d.h. es wird ermittelt, bis zu welchem Maß diese Werte unter- bzw. überschritten werden könnten.

Durch Einbeziehung von Wahrscheinlichkeitsüberlegungen in die Berechnungen ist eine wesentliche Verbesserung in der Entscheidungsfindung möglich. Aufgrund der angesetzten Bandbreiten und Verteilungsfunktionen werden nach zu wählender Anzahl an Iterationen für die gesuchten Ergebnisse Wahrscheinlichkeitsverteilungen dargestellt. Für den in Abb. 6 dargestellten Berechnungsmodus wird als Ergebnis für den Gesamt-Aufwandswert (AW_{STB}), die tägliche Leistung ($L_{STB,WS}$), die Dauer ohne Puf-

bauzeit

fer ($D_{STB,WS}$) sowie die Dauer inkl. Puffer ($D_{STB,WS,PU}$) jeweils eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ausgegeben.

3.5 UMGANG MIT SKALAREN GRÖSSEN

„In seiner Dissertation sieht Schubert bereits 1971 neben den negativen Aspekten auch die Möglichkeit eines Risikogewinns. Er sieht eine Gruppe von Risiken als die Auswirkung der Abweichung von vorgegebenen Leistungsansätzen […], wobei diese Leistungsansätze gewonnene Durchschnittswerte […] sind. Konsequenter Weise zieht er den Schluss, dass in Abhängigkeit der Basislinie neben einer Verlustmöglichkeit auch eine Gewinnmöglichkeit gegeben ist. Aus dieser Perspektive hängt das Verhältnis von Wagnissen/Chancen vom gewählten Level der Leistung oder allgemeiner der Ziele ab. Verdeutlicht wird dies in Abb. 7 (a). Nimmt man die Maximalleistung als Ziellevel, so existieren nur Risiken und keine Chancen. Im anderen Extrem, also wenn man die Leistung auf den Minimalwert festlegt, existieren nur Chancen. Beim Mittelweg legt die subjektive Entscheidung für einen bestimmten Ziellevel die entsprechenden Chancen und Wagnisse fest.“ [11]

> *Abb 7*

4 DER RISIKO-/CHANCEN-MANAGMENTKREISLAUF

Risiko-/Chancenmanagement wird idealerweise als Regelkreis geplant und umgesetzt. Welche Rolle Risiko-/Chancenmanagement im Unternehmen einnimmt, hängt meist von der Unternehmensgröße, der Art der Projekte und von den Führungskräften ab. Global wird das Unternehmen und lokal werden einzelne Projekte betrachtet. Die Schnittstellen sind dabei klar zu definieren, damit in Abhängigkeit vom Betrachtungsumfang die richtigen Maßnahmen eingeleitet werden.

Der Risiko-/Chancenmanagementprozess umfasst dann die Risiko-/Chancenanalyse, die sich aus der Risiko-/Chancenidentifikation sowie der Risiko-/Chanceneinschätzung zusammensetzt. Für diese Situationsanalyse kann beispielsweise die SWOT-Methode [13] eingesetzt werden. Der nächste Schritt ist die detailliertere Bewertung der Risiken und der Chancen. Beim Risiko ergeben sich daraus die einzelnen Maßnahmen zur Risikobewältigung. Dazu zählen Risikovermeidung, Risikoübertragung und Risikotragung. In dieser Phase werden im Risikooptimierungsprozess die sich aus den Kriterien der Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit ergebenden sinnvollsten Maßnahmen definiert und umgesetzt.

Im Zuge der Projektabwicklung sind dann die Risiken und Chancen mit den Instrumenten der Kommunikation, des Controllings, Reportings und der Evaluierung zu verfolgen und zu kontrollieren sowie zu steuern. Als letzter Schritt im Risikomanagementprozess können bei der Risikonachbetrachtung bei Projektabschluss wichtige Daten für zukünftige Projekte gewonnen werden. Für die Nachbetrachtung sind vorher Regeln festzulegen, damit die Daten systematisch erfasst und für zukünftige Projekte nachvollziehbar zur Verfügung stehen. [14]

> *Abb. 8*

Dieser Risiko-/Chancenmanagementprozess (RCM-Prozess), wie in Abb. 8 dargestellt, wird auch auf die Berechnung der Bauzeit in den verschiedenen Projektphasen angewendet. Es werden hier nicht nur Risiken erfasst, sondern auch Chancen.

Verdeutlicht wird dieser Ansatz durch die Definition des Begriffs Risiko von Wiggert: „Risiko ist der Einfluss von Unsicherheiten auf die Performance, ausgehend von bewusst oder unbewusst gesetzten Zielen. Eine potentielle Steigerung der relativen Performance wird als Chance und eine potentielle Verminderung als Wagnis bezeichnet.“[16]

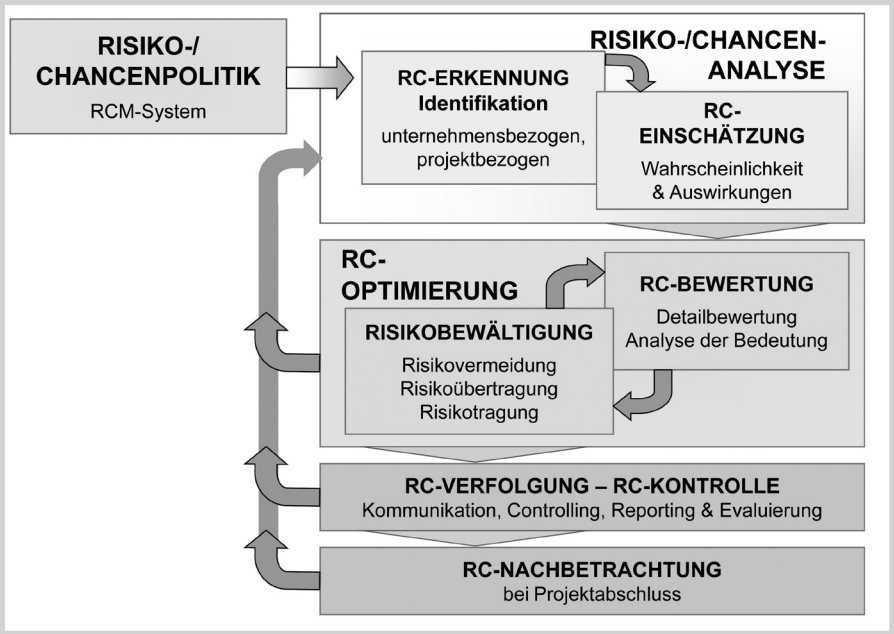

Abb. 8: Angewandtes Risiko-/Chancenmanagement-System [in Anlehnung an Link/ Stempkowski] [15]

Im Rahmen der Risikopolitik ist festzulegen, welche Betrachtungstiefe und -breite für die jeweiligen Projektphasen anzuwenden ist. Einerseits werden dabei global die Unternehmensziele betrachtet und andererseits wird auf das spezielle Projekt eingegangen.

Der Bauherr soll eine baubetrieblich auskömmliche Gesamtbauzeit bzw. Teilzeiten für die verschiedenen Projektphasen vorgeben, damit seine Projektziele erreichbar sind. Die Unsicherheiten in den verschiedenen Projektphasen sind in früheren höher als in späteren und können als Trichter über eine Zeitachse aufgetragen dargestellt werden (siehe Abb. 9).

> *Abb. 9*

Dieser RC-Managementprozess wird auf die Berechnung der Bauzeit angewendet. Je nach Projektphase verändert sich die Anzahl der Einflüsse, die es beim Risiko-/Chancenprozess zu berücksichtigen gilt. In Abb. 3 sind beispielsweise die Einflüsse auf die Produktionsleistung für eine frühere Projektphase in einer gröberen Struktur dargestellt, in Abb. 5 werden die Einflüsse auf den Aufwandswert für die Schalarbeiten dagegen in einer feineren Struktur präsentiert.

Die übergeordneten Ziele des Chancenmanagements liegen in der Nutzung von Projekt- und Kostenoptimierungspotentialen in Unternehmen oder in allen Phasen eines Projektes. Nicht Probleme stehen im Vordergrund sondern die Suche nach Potentialen. [17]

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zur Berechnung der Bauzeit werden für Grobbetrachtungen einerseits Produktionsmenge und andererseits Produktionsleistung benötigt. Wird das Gesamtprojekt in Teilsysteme aufgesplittet, sind die Beziehungen zwischen den Systemen (z.B. Bauwerk-Rohbau, Bauwerk-Ausbau, Bauwerk-Technik) festzulegen. Neben den Unsicherheiten in der Berechnung der Teilzeiten für die einzelnen Systeme sind nun auch die Unsicherheiten in den Anordnungsbeziehungen zu erfassen und zu bewerten.

Dabei sind für jedes Projekt die Chancen und Risiken neu zu bewerten. Als Ausgangsbasis dienen dabei die Erfahrungen aus vergangenen Projekten, die nur dann nützlich sind, wenn die daraus gewonnenen Daten nachvollziehbar analysiert werden können. Zunächst können Basiswerte ermittelt werden, auf die aufbauend für eine Chancen- und Risikobewertung optimistische und pessimistische Werte festgelegt werden.

Die Erstellung der deterministischen Berechnungsvorschrift bildet die Basis für die stochastischen Methoden. Werden die stochastischen Berechnungsmethoden systematisch und pflichtbewusst angewendet, bilden deren Ergebnisse eine gute Basis zur Interpretation des Outputs und letztendlich für die Entscheidungsfindung.

Weitere Untersuchungen zur Charakteristik von Verteilungsfunktionen für Aufwandswerte und Bauwerkskenngrößen (wie z.B. Schalungsgrad, Bewehrungsgrad) werden durchgeführt. Die Auswirkungen von Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen werden ebenfalls auf deren Relevanz überprüft. Die Ergebnisse dazu werden noch veröffentlicht. <<

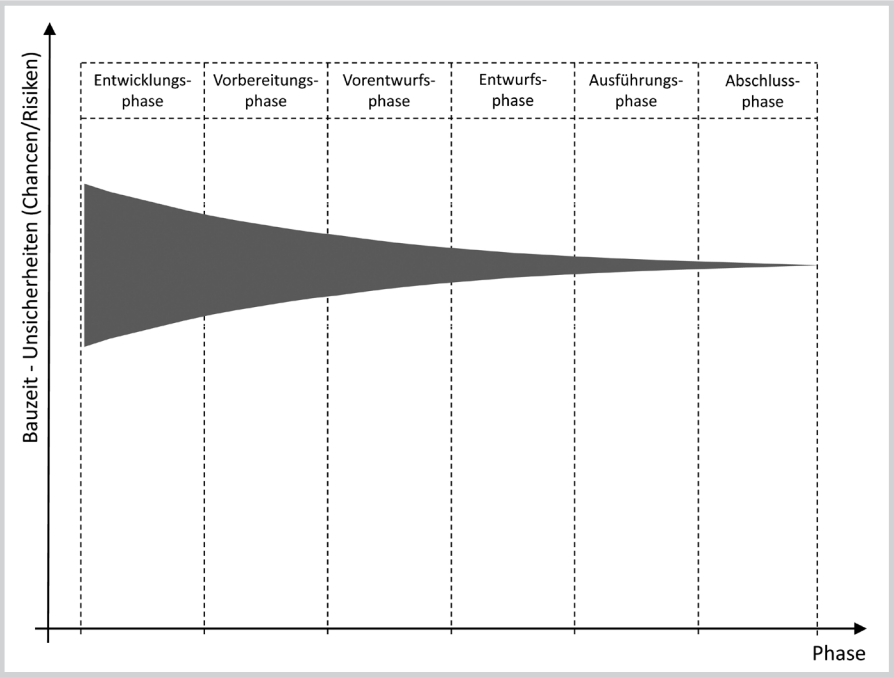

Abb. 9: Unsicherheitstrichter (Chancen/Risiken) für Projekte (schematische Darstellung)

bauzeit

Fußnoten

[1] In der Entscheidungstheorie werden mit Unsicherheit zukünftige Umweltzustände beschrieben, für welche keine Wahrscheinlichkeiten vorliegen. Unsicherheit wird dabei in Ungewissheit, Risiko und Unwissen unterteilt. Bei der Ungewissheit sind die möglichen Auswirkungen bekannt, man verfügt jedoch nicht über Informationen zur Eintrittswahrscheinlichkeit. Beim Risiko ist als zusätzliche Information die Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt, nicht aber der Zeitpunkt. Beim Unwissen sind auch die Auswirkungen der untersuchten Handlungsalternativen nicht vollständig bekannt. Die Entscheidungstheorie bietet verschiedene Methoden zur Entscheidung unter Ungewissheit, Entscheidung unter Unsicherheit und Entscheidung unter Risiko.

[2] Firmenvortrag der Fa Hochtief: Risikomanagement in der Niederlassung Berlin-Brandenburg

[3] Blecken (1967). Die Produktions- und Kostentheorie im instationären Baubetrieb, Teil 1. 199

[4] in Anlehnung an Hofstadler (2011). Nachweis von Produktivitätsverlusten am Beispiel der Stahlbetonarbeiten. 49

[5] Hofstadler, Christian (2010). Monte-Carlo Simulation in der Arbeits-/Projektvorbereitung – Anwendung bei der Berechnung der Bauzeit. 154

[6] Hofstadler (2007). Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. 18

[7] vgl. Hofstadler (2011). Application of the Monte-Carlo method to determine the time required for construction projects. 50

[8] Hofstadler (2008). Schalarbeiten - Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. 308

[9] Werner (2003). Datenbankgestützte Risikoanalyse von Bauprojekten. 72

[10] vgl. Hofstadler, Christian (2010). Monte-Carlo Simulation in der Arbeits-/Projektvorbereitung – Anwendung bei der Berechnung der Bauzeit. 157

[11] Wiggert (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. 84

[12] Wiggert (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. 84

[13] SWOT-Methode: (engl. Akronym für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Bedrohungen)) ist ein Instrument der Strategischen Planung

[14] vgl. Link/Stempkowski (2004). Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. 2

[15] Link/Stempkowski (2004). Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. 2

[16] Wiggert (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. 114

[17] Waldauer/Stempkowski (2011). Chancen des Chancenmanagements. 68ff

Quellen/Literaturverzeichnis

Müller, W. (1993): Risiko und Ungewißheit. In: Waldemar Wittmann, Werner Kern, Richard Köhler, Hans-Ulrich Küpper, Klaus von Wysocki (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Teilband 3. 5. Auflage

Hofstadler, Christian (2007). Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag

Hofstadler, Christian (2008). Schalarbeiten – Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag

Hofstadler, Christian (2010). Monte-Carlo Simulation in der Arbeits-/Projektvorbereitung – Anwendung bei der Berechnung der Bauzeit. In: Heck, Detlef/Hofstadler, Christian/Lechner, Hans (Hrsg.):
Arbeitsvorbereitung für Bauprojekte, 8. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz

Hofstadler, Christian (2010). Application of the Monte-Carlo method to determine the time required for construction projects – Influence of ranges and correlations on probability distribution. In: Faber, Michael H./Köhler, Jochen/Nishijima, Kazuyoshi: Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Link, Doris/Stempkowski, Rainer (2004). Grundlagen, praktische Anwendungen und Nutzen des Risikomanagements im Bauwesen. In: Lechner, Hans/Stadler, Gert (Hrsg.): Risikomanagement in der Bauwirtschaft, 2. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz

Schubert, Eberhard (1971). Die Erfassbarkeit des Risikos der Bauunternehmung bei Angebot und Abwicklung einer Baumaßnahme. Dissertation, TU Hannover

Waldauer, Evelin/Stempkowski, Rainer (2011). Chancen des Chancenmanagements. In: Stempkowski, Rainer (Hrsg.): Life Cycle Management bei Bauprojekten, 5. PM-Bau Symposium. Perchtoldsdorf: Stempkowski Baumanagement & Bauwirtschaft Consulting GmbH

Werner, Andreas (2002). Datenbankgestützte Risikoanalyse von Bauprojekten – Eine Methode zur rechnergestützten Monte-Carlo-Simulation des Bauablaufs für die Risikoanalyse im Bauunternehmen. Dissertation, Universität Rostock

Wiggert, Marcel (2009). Risikomanagement von Betreiber- und Konzessionsmodellen. Dissertation, Technische Universität Graz