

Beschaffungslogistik für die Phase Bauwerk-Rohbau – Berechnung der Anzahl der Transporte für Stahlbetonarbeiten unter Anwendung der Monte-Carlo-Simulation

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler

Universitätsdozent für Baubetrieb

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Technische Universität Graz

Beschaffungs-, Produktions- und Entsorgungslogistik stellen die Teilbereiche der Baulogistik dar. In Abhängigkeit vom Standort der Baustelle, hat die Baulogistik hinsichtlich eines wirtschaftlich effektiven Einsatzes der Produktionsfaktoren eine hohe Bedeutung. Bauweise und Art des Bauvorhabens haben wesentlichen Einfluss auf die Gesamtanzahl an Transporten, sowie die Bauzeit auf die Transportdichte. In der Rohbauphase ist die Anzahl der beteiligten Gewerke gering. Mit Beginn der Phasen Ausbau und Technik können bei komplexen Bauvorhaben mehr als 50 Gewerke gleichzeitig ihre Arbeiten ausführen. Kurze Bauzeiten führen zu größeren Anforderungen an die Logistik, die Transportdichte und die Simultanität der Transporte von verschiedenen Gewerken nimmt zu. Im Beitrag wird die Berechnung der Anzahl der Transporte für den Bereich Bauwerk-Rohbau unter Berücksichtigung von wesentlichen baubetrieblichen Randbedingungen gezeigt. Neben einer einfachen deterministischen Methode werden Berechnungsmöglichkeiten unter Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung dargestellt.

Mit der deterministischen Methode wird für jeden Berechnungsdurchgang ein Wert ausgegeben (Berechnungsmodus 1). Für den Berechnungsmodus 2 wird in einfacher Weise die Wahrscheinlichkeitsrechnung eingesetzt und es können für die jeweiligen Eingangsgrößen Bandbreite und Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden.

Für die dritte Berechnungsmethode wird die Monte-Carlo-Methode mittels des Softwareprogramms @RISK eingesetzt. Dazu werden einzelne ausgewählte Parameter im Berechnungsschema jeweils mit einer Verteilungsfunktion belegt. Die Werte für die Bandbreite werden unter Berücksichtigung der baubetrieblichen und bauwerkspezifischen Randbedingungen gewählt. Als Ergebnis wird für die gesuchten Größen jeweils eine Wahrscheinlichkeitsverteilung dargestellt. Die Anwendung der Monte-Carlo-Methode für die Ermittlung der Anzahl der Transporte wird anhand eines Hochbauprojektes gezeigt.

Die Beschaffungslogistik beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Versorgung der Baustelle mit Gerät und Material.

Im Zuge der Produktionslogistik werden alle vertikalen und horizontalen Transportvorgänge auf der Baustelle geplant, organisiert, kontrolliert und gesteuert.

Der Abtransport von Gerät, Material und Reststoffen wird im Rahmen der Entsorgungslogistik geplant, organisiert und gesteuert.

In Abhängigkeit von der Projektphase wird auch für die Baulogistik in Grob- und Feinplanung unterschieden.

1 Situationsanalyse und Zielsetzung

Für die Berechnung der Gesamtanzahl an Transporten stehen für Erdarbeiten genauere Berechnungsgleichungen zur Verfügung. Anhand der Technischen Nutzleistung der Aushubgeräte und des Fassungsvermögens der Transportfahrzeuge kann auf die Anzahl der Transporte geschlossen werden. Voraussetzung für eine exakte Berechnung sind Kenntnisse über den Auflockerungsfaktor und die Abmessungen der Baugrube. Das feste Aushubvolumen hängt vom Gebäudegrundriss und der Ausführung der Baugrube ab (geböschter oder senkrecht).

Die Genauigkeit der Angaben zu den verwendeten Materialien und Abmessungen wird wesentlich von der betrachteten Projektphase beeinflusst. Mit steigender Detaillierung wächst auch die Genauigkeit der Eingangsgrößen für die Berechnung von z.B. der Transportanzahl oder der Transportdichte. Eine gewisse Unschärfe wird es aber auch im höchsten Detaillierungsgrad geben.

Logistische Überlegungen sind auch bei der Ermittlung der Bauzeit zu berücksichtigen. Ausgehend von den Bauwerks- und Baustellenbedingungen können sich aufgrund logistischer Zwänge Grenzen für die kürzest mögliche Bauzeit ergeben. Die Begrenzung kann z.B. aus der maximal verträglichen Verkehrsdichte aufgrund der prognostizierten Verkehrssituation folgen (z.B. mehr als 10 Transporte je Stunde sind realistisch nicht möglich).

Ziel des Beitrages ist es, die deterministische Berechnung der Anzahl der Transporte für Bauprojekte darzustellen und zu erläutern. Weiters wird die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation für die Berechnung der Transporte dargestellt und anhand eines Hochhausprojektes gezeigt. Für Eingangsparameter in die Berechnung werden Bandbreiten angegeben.

2 Einflüsse auf die Beschaffungslogistik

Maßgebliche Einflüsse auf die Beschaffungslogistik sind demonstrativ in Bild 1 dargestellt.

Geprägt wird die Beschaffungslogistik wesentlich von der täglichen Arbeitszeit, der Transportintensität, der Anzahl der Transporte, der Art der Transportmittel, dem Organisationsgrad und den Störeinflüssen.

Die Anzahl der Transporte hängt hauptsächlich von der Art des Bauwerks, den Bauwerksdimensionen und der Bauweise ab.

Welche Transportmittel genutzt werden können, wird vorwiegend von der Lage und Erschließung der Baustelle bestimmt.

Der Organisationsgrad beeinflusst die Beschaffungslogistik hinsichtlich des zeitlichen und räumlichen Ablaufs der Transporte während der Bauausführung. Werden bei

größeren Bauvorhaben die Logistikprozesse zentral geplant, gesteuert und kontrolliert, können Störungen eher verhindert werden als bei einer durch die einzelnen Gewerke dezentral organisierten Logistik. Dadurch können Produktivitätsverluste während der Bauausführung vermieden bzw. reduziert werden.

Werden logistische Überlegungen bei den einzelnen Ausführenden vernachlässigt, können mögliche Einsparungspotenziale nicht genutzt werden (z.B. durch Reduktion von Wartezeiten, Behinderungen etc.).

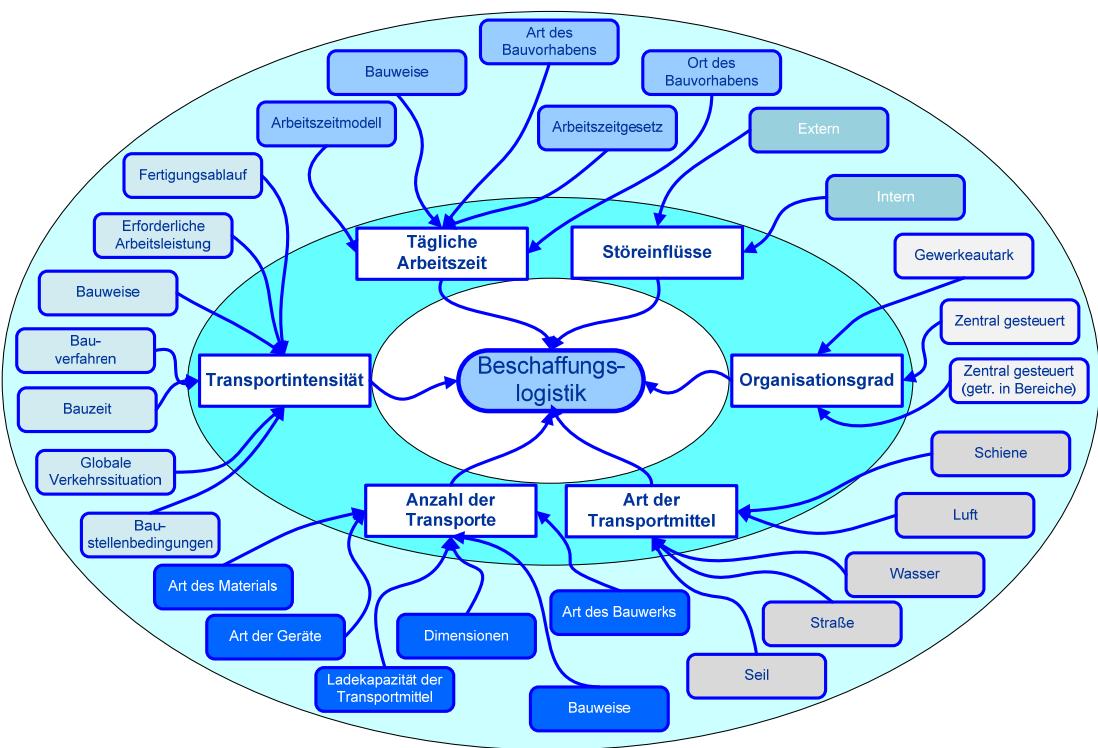


Bild 1: Maßgebende Einflüsse auf die Beschaffungslogistik [5]

Auch die Bauzeit hat Einfluss auf die Beschaffungslogistik. Die Transportintensität wird von der Kürze der Zeit und des möglichen täglichen Zeithorizonts für Transporte beeinflusst. Wenn der Bauherr für ein beliebiges Bauprojekt eine zu kurze Bauzeit vorgibt, kann zwar durch einen höheren Potenzialeinsatz diese Bauzeit gehalten werden, aber bedingt durch kalkulierte Produktivitätsverluste (z.B. aus ineffizientem Bauablauf und ineffizienter Logistik) müsste es zu höheren Einheitspreisen für die auszuführenden Leistungen kommen. Idealerweise hat der Auftraggeber annähernde Kenntnis über diese Randbedingungen und berücksichtigt diese wesentlichen baubetrieblichen Parameter bei der Fixierung der vertraglich verbindlichen Bauzeit.

Bei Hochbauprojekten fallen für den Bereich Bauwerk-Rohbau für die Stahlbetonarbeiten die meisten Transporte an. Werden als Fundamentierungen Bodenplatten verwendet, entfällt – in Abhängigkeit von den Grundrissabmessungen und der Höhe des Bauwerks – ein Großteil der Transporte auf diese Bauteile.

Zur Berechnung der Anzahl der Transporte je Zeiteinheit sind vorher die Anzahl der Transporte für den Zeitraum und die zur Verfügung stehenden Transportstunden zu ermitteln.

3 Grundlagen zur Berechnung der Gesamtanzahl der Transporte

Die Anzahl der Transporte kann beispielsweise überschlagsmäßig mit Kennzahlen aus ähnlichen vergangenen Projekten ermittelt werden. Für die Feinplanung werden die einzelnen Gewerke getrennt betrachtet. Die Betrachtungstiefe kann bis zur Analyse der Transporte für einzelne Fertigungsabschnitte gehen. Hinsichtlich des Transportzeitpunktes kann zwischen Lagertransporten und Just-in-Time Transporten unterschieden werden (siehe Bild 2). Typische Just-in-Time Transporte sind die Betontransporte.

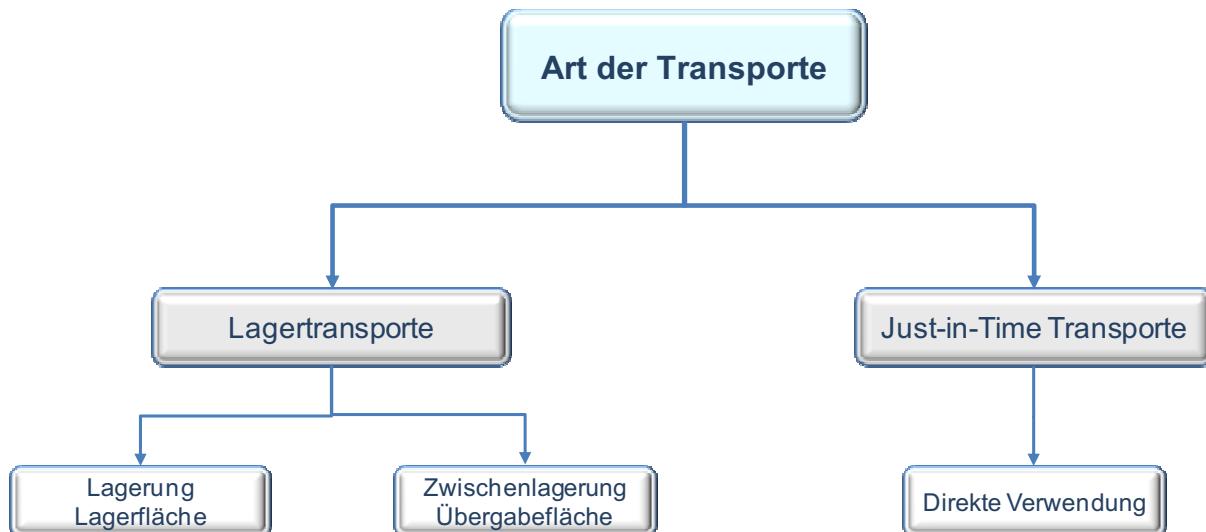


Bild 2: Art der Transporte

Zu den Lagertransporten zählen z.B. die Zulieferungen von Gesteinskörnungen, Zement oder Ziegel, die auf Lager gehalten werden. Die Vorlaufzeit der Transporte hängt u. a. vom gewählten Bestellverfahren ab.

3.1 Gesamtanzahl der Transporte für die Beschaffungslogistik

Je nach Betrachtungstiefe wird auch für die Beschaffungslogistik in Grob- und Feinplanung unterschieden. Die Aussagekraft und Genauigkeit der errechneten Werte steigt mit zunehmender Projektkenntnis und Bearbeitungstiefe.

3.1.1 Grobplanung

Über Glg. 1 wird mit den Durchschnittswerten für den Bruttorauminhalt des Bauwerks BRI_{BWK} [m^3] und Leistung L_{BRI} [m^3/d] die Dauer D_{BRI} [d] berechnet.

$$D_{BRI} = \frac{BRI_{BWK}}{L_{BRI}} \quad (1)$$

Die Dauer wird benötigt, wenn Aussagen zur Transportintensität gemacht werden sollen. Wird beispielsweise für die Bodenplatte die durchschnittliche Transportintensität berechnet, folgt das Ergebnis aus Anzahl der Transporte und Dauer der Stahlbetonarbeiten für den Bauteil. Für die Feinplanung werden die Arbeitstage im Detail betrachtet und die Intensität je Arbeitsstunde untersucht (vgl. [2]).

Mit Glg. 2 kann die Anzahl der Transporte bezogen auf den Bruttorauminhalt $ANZ_{TP,BWK,BRI}$ [-] berechnet werden. Durch Multiplikation des Transportgrades $tp_{g,bwk}$ [$1/m^3$] mit dem gesamten Bruttorauminhalt BRI_{BWK} [m^3] erhält man den Wert für die Gesamtanzahl an Transporten.

$$ANZ_{TP,BWK,BRI} = BRI_{BWK} * tp_{g,bwk} \quad (2)$$

Wird der gesamte Transportgrad für ein Bauwerk $tp_{g,bwk}$ [$1/m^3$] auf die Bereiche Rohbau, Ausbau und Technik bezogen (Bruttorauminhalt), ergibt sich der Gesamtwert aus Glg. 3.

$$tp_{g,bwk} = tp_{g,bwk,rb} + tp_{g,bwk,ab} + tp_{g,bwk,ti} \quad (3)$$

Der Transportgrad kann auf einzelne Gewerke bezogen werden, oder es wird ein Transportgrad für das gesamte Bauwerk angesetzt. Beispielsweise wird der Transportgrad für den Bereich Bauwerk-Rohbau $tp_{g,bwk,rb}$ [$1/m^3$] nach Glg. 4 berechnet:

$$tp_{g,bwk,rb} = \sum_i^n tp_{g,rb,gwk,i} \quad (4)$$

Überschlägig kann der Transportgrad für Stahlbetonarbeiten bezogen auf den Bruttorauminhalt zwischen 0,020 und 0,025 [$1/m^3$] angenommen werden.

Werden nur die Stahlbetonarbeiten betrachtet, kann der Transportgrad für die Stahlbetonarbeiten $tp_{g,rb,stb}$ [$1/m^3$] aus Glg. 5 berechnet werden (wobei hier für die Grobplanung drei Gewerke zusammengefasst wurden):

$$tp_{g,rb,stb} = tp_{g,s} * s_{g,bwk} + tp_{g,bw} * bw_{g,bwk} + tp_{g,bt} \quad (5)$$

Die anteiligen Ansätze der Transportgrade (bezogen auf die Betonmenge) für die Schalungs-, Bewehrungs- und Betontransporte werden addiert. Im ersten Term wird der Transportgrad für die Schalung mit dem Schalungsgrad multipliziert. Durch Multiplikation des Transportgrads für die Bewehrung mit dem Bewehrungsgrad folgt der zweite Term [3].

Überschlägig kann der Transportgrad für Stahlbetonarbeiten bezogen auf die Betonmenge des Bauwerks zwischen 0,15 und 0,20 [1/m³] angenommen werden.

Mit Glg. 6 kann die Anzahl der Transporte bezogen auf die Stahlbetonmenge ANZ_{TP,BWK,STB} [-] berechnet werden. Durch Multiplikation des Transportgrades tp_{g,rb,stb} [1/m³] mit der gesamten Betonmenge BT_{M,BWK} [m³] erhält man den Wert für die Gesamtanzahl an Transporten.

$$\text{ANZ}_{\text{TP,BWK, STB}} = \text{BT}_{\text{M,BWK}} * \text{tp}_{\text{g,rb,stb}} \quad (6)$$

Zusätzlich kann noch ein Zuschlag für Reserven ZU_{TP,STB} [-] berücksichtigt werden und durch Einsetzen des Prozentsatzes in Glg. 7 folgt die Gesamtanzahl der Transporte ANZ_{TP,BWK,STB,ZU} [-].

$$\text{ANZ}_{\text{TP,BWK, STB, ZU}} = \text{ANZ}_{\text{TP,BWK, STB}} * \left(1 + \frac{\text{ZU}_{\text{TP,STB}}}{100} \right) \quad (7)$$

Wenn der Bruttorauminhalt bekannt ist, kann die Stahlbetonmenge eines Bauwerks BT_{M,BWK} [m³] näherungsweise anhand der Glg. 8 berechnet werden. Im Zähler wird der Bruttorauminhalt BRI_{BWK} [m³] und im Nenner der Ortbetongrad obt_{g,bwk} [m³ BRI/m³ Beton] eingesetzt.

$$\text{BT}_{\text{M,BWK}} = \frac{\text{BRI}_{\text{BWK}}}{\text{obt}_{\text{g,bwk}}} \quad (8)$$

Bei Bauwerken im Hochbau mit Wänden und Decken aus Ortbeton liegt der Ortbetongrad zwischen 4 bis 7 (Ortbetongrad = 7 z.B. für Hochhäuser mit einem Schalungsgrad von rund 4 m²/m³). Werden tragende Wände teilweise aus z.B. Mauerwerk hergestellt, ist ein niedrigerer Ortbetongrad anzusetzen [3].

3.1.2 Feinplanung

In weiterer Folge kann der Transportgrad getrennt für Schalungs-, Bewehrungs- und Betonarbeiten ermittelt werden.

Für die Schalarbeiten folgt der Transportgrad tp_{g,s} [1/m²] bezogen auf die Schalfläche (einfache Fahrt) aus Glg. 9:

$$\text{tp}_{\text{g,s}} = \frac{V_s}{S_{F,BWK} * S_{M,TP}} \quad (9)$$

Im Zähler wird die gesamte Vorhaltemenge V_s [m²] an Schalung eingesetzt. Werte für die gesamte Schalungsfläche des Bauwerks S_{F,BWK} [m²] und die durchschnittliche Schalungsfläche S_{M,TP} [m²], die je Transport angeliefert wird, werden im Nenner eingefügt. Für eine grobe Betrachtung kann der Transportgrad für die Schalarbeiten bezogen auf die gesamte Schalfläche von 0,00083 bis 0,00125 [1/m²] angenommen werden [3].

Für eine weitere Detaillierung der Feinplanung der Beschaffungslogistik werden verschiedene Bauteile getrennt betrachtet. Weiters kann auch in Bauabschnitte oder Fertigungsabschnitte differenziert werden. Dazu werden die spezifischen Werte für Vorhaltemenge $V_{S,i}$ [m^2], Schalungsfläche $S_{F,i}$ [m^2] und Schalungsmenge je Transport $S_{M,TP,i}$ [m^2] in Glg. 10 eingesetzt.

$$tp_{g,s,i} = \frac{V_{S,i}}{S_{F,i} * S_{M,TP,i}} \quad (10)$$

Aus den spezifischen Transportgraden $tp_{g,s,i}$ [$1/m^2$] kann in weiterer Folge ein durchschnittlicher Transportgrad für das gesamte Bauwerk $tp_{g,s}$ [$1/m^2$] nach Glg. 11 berechnet werden.

$$tp_{g,s} = \frac{\sum_i^n \frac{V_{S,i}}{S_{M,TP,i}}}{S_{F,BWK}} \quad (11)$$

Für die Bewehrungsarbeiten folgt der Transportgrad $tp_{g,bw}$ [$1/t$] bezogen auf die Bewehrungsmenge aus Glg. 12:

$$tp_{g,bw} = \frac{1}{BW_{M,TP}} \quad (12)$$

Im Nenner wird die durchschnittliche Bewehrungsmenge $BW_{M,TP}$ [t] eingesetzt, die je Transport angeliefert wird. Für eine grobe Ermittlung können die Werte von 0,05 bis 0,1 angenommen werden. Bei durchschnittlich 20 t je Transport werden 0,05 und bei 10 t werden 0,10 angesetzt. Die Höhe des Wertes hängt vor allem von den spezifischen Baustellenbedingungen (z.B. Beschaffenheit der Zufahrtswege, Gewichtsbeschränkungen) ab.

Für die Betonarbeiten folgt der Transportgrad $tp_{g,bt}$ [$1/m^3$] bezogen auf die Betonmenge $BT_{M,TP}$ [m^3], die durchschnittlich je Transport angeliefert wird aus Glg. 13:

$$tp_{g,bt} = \frac{1}{BT_{M,TP}} \quad (13)$$

Im Nenner wird die durchschnittliche Betonmenge (Festbetonmenge) eingesetzt, die je Transport angeliefert wird. Für eine grobe Ermittlung können die Werte von 0,07 bis 0,15 angenommen werden. Beispielsweise werden für durchschnittlich 10 m^3 je Transport 0,1 für den Transportgrad angesetzt. Die Höhe des Wertes hängt vor allem von den spezifischen Baustellenbedingungen (z.B. Beschaffenheit der Zufahrtswege oder Gewichtsbeschränkungen die Einfluss auf Größe der Transportfahrzeuge haben) und der Bauzeit ab.

4 Deterministische und vereinfachte stochastische Berechnung der Anzahl der Transporte

Als Eingangswerte für die nachfolgenden Berechnungsmethoden können Werte beispielsweise aus vergangen Projekten, aus der Literatur oder eigenen Erfahrungen herangezogen werden. Es ist in allen Fällen darauf zu achten, dass die Werte an die Baustellen-, Bauwerks-, Betriebs- und Bauverfahrensbedingungen angepasst werden.

4.1 Berechnungsmodus 1 – Deterministischer Ansatz

Nach Berechnungsmodus 1 wird für jeden Berechnungsdurchgang jeweils ein Wert für die Anzahl an Transporten ermittelt. Die Parameter können derart gewählt werden, dass damit für die gesuchten Größen ein oberer und unterer Grenzwert ermittelt wird.

Über die Eintrittswahrscheinlichkeit der berechneten Werte, kann mit dieser Methode keine Aussage getroffen werden.

4.2 Berechnungsmodus 2 – Vereinfachter stochastischer Ansatz

Für die Eingangswerte in den Berechnungsalgorithmus werden jeweils drei Werte angesetzt, und zwar ein minimaler Wert, ein erwarteter 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. Auf diese Berechnungsmethode wurde in [5] näher eingegangen.

Auch mit dieser Methode kann über die Eintrittswahrscheinlichkeit der berechneten Werte keine Aussage getroffen werden. Erwartungswerte können aber stärker gewichtet sowie Minimum und Maximum systematisch berücksichtigt werden.

4.3 Berechnungsmodus 3 – Einsatz der Monte-Carlo-Simulation

Für die stochastische Berechnungsmethode werden einzelne ausgewählte Parameter mit einer Verteilungsfunktion belegt (Ablaufschema siehe Bild 3). Die Werte für die Bandbreite sowie den Erwartungswert werden unter Berücksichtigung der projektspezifischen Randbedingungen festgelegt.

Durch Einbeziehung von Wahrscheinlichkeitsüberlegungen in die Berechnungen ist eine wesentliche Ergebnisverbesserung möglich. Aufgrund der angesetzten Band-

breiten und Verteilungsfunktionen werden nach zu wählender Anzahl an Iterationen für die gesuchten Werte Wahrscheinlichkeitsverteilungen dargestellt. Mit der Monte-Carlo-Methode ist es möglich, für die Anzahl der Transporte für die Stahlbetonarbeiten die Wahrscheinlichkeitsverteilung zu berechnen. In einer frei wählbaren Anzahl an Iterationen generiert ein Software-Programm (im vorliegenden Fall @RISK) für die Eingangswerte Zufallszahlen, die jeweils mit den vordefinierten Verteilungsfunktionen auftreten, und kombiniert diese nach einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift (die Berechnungsgleichungen der deterministischen Methode). Eingabeparameter sind: Bandbreiten, Erwartungswerte und Verteilungsfunktionen

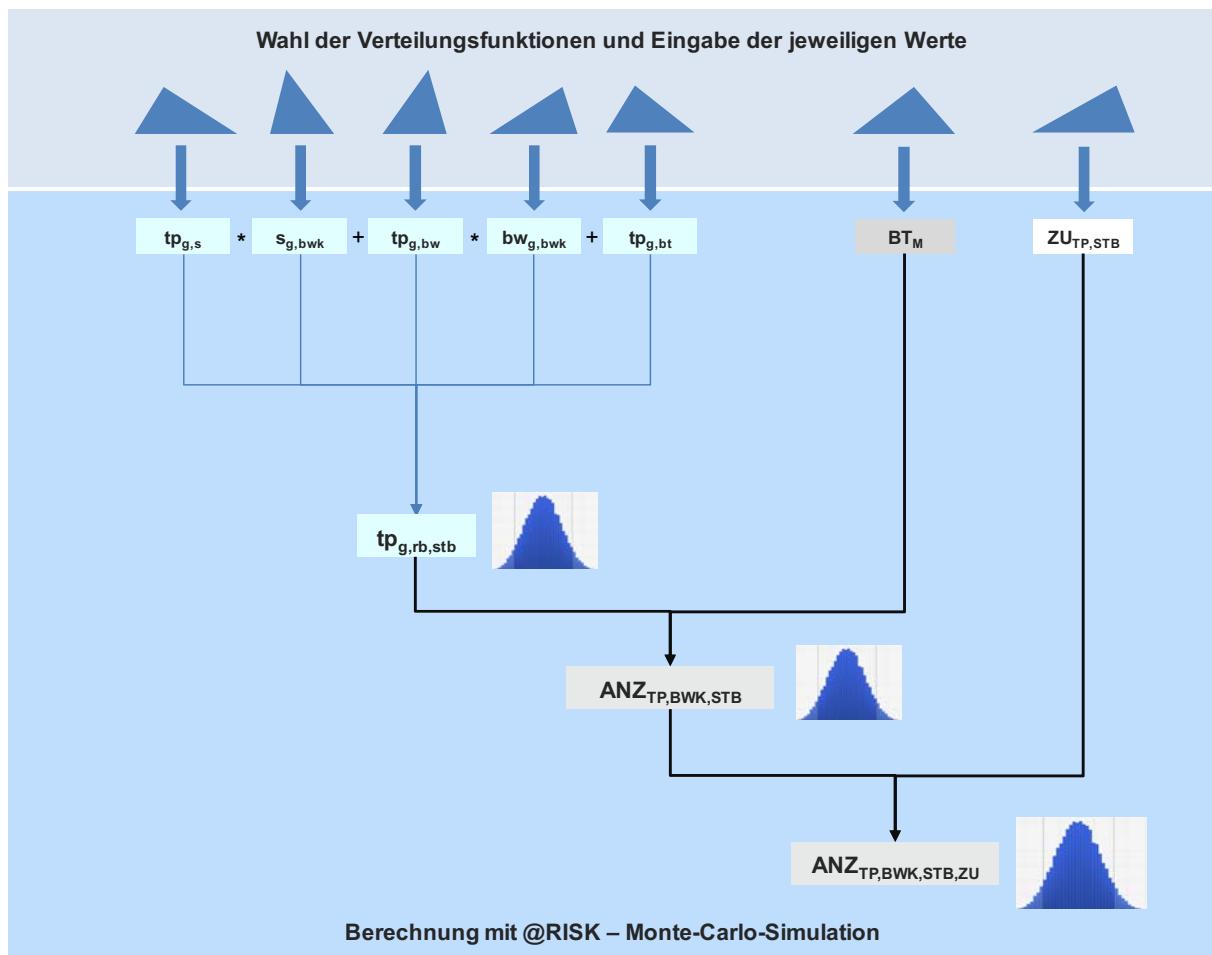


Bild 3: Berechnungsmodus 3 – Ermittlung der Anzahl der Transporte für Stahlbetonarbeiten: Einsatz der Monte-Carlo-Simulation (in Anlehnung an [4])

Raab in [6] führt zu Verteilungsfunktionen an, dass für Untersuchungen im Bauwesen in jenen Fällen, in denen Grenzen so gut wie immer zu erkennen sind, dreiecks-, parabolische oder seltener rechteckige Verteilungen heranzuziehen sind.

5 Anwendung der Berechnungsmethoden

Im Beitrag wird die Anwendung der Monte-Carlo-Simulation anhand eines Hochhausprojektes gezeigt. Auf die Anwendung der Berechnungsmethoden 1 und 2 wurde in [5] für das gleiche Projekt eingegangen.

5.1 Hochhausprojekt – wesentliche Angaben

In Bild 4 ist der Grundriss des Regelgeschosses angeführt. Das Gebäude besteht aus zwei Untergeschossen, einem Erdgeschoss, 10 Obergeschossen sowie einem Dachgeschoss (siehe Bild 5). Die max. Gebäudegrundfläche im Untergeschoss beträgt ca. 3.025 m^2 . Die beiden Untergeschosse, das Erdgeschoss, die Regelgeschosse sowie das Dachgeschoss weisen vier unterschiedliche Grundrisse auf. Einzelne Bauteile sind jedoch über mehrere Stockwerke hinweg nahezu identisch.

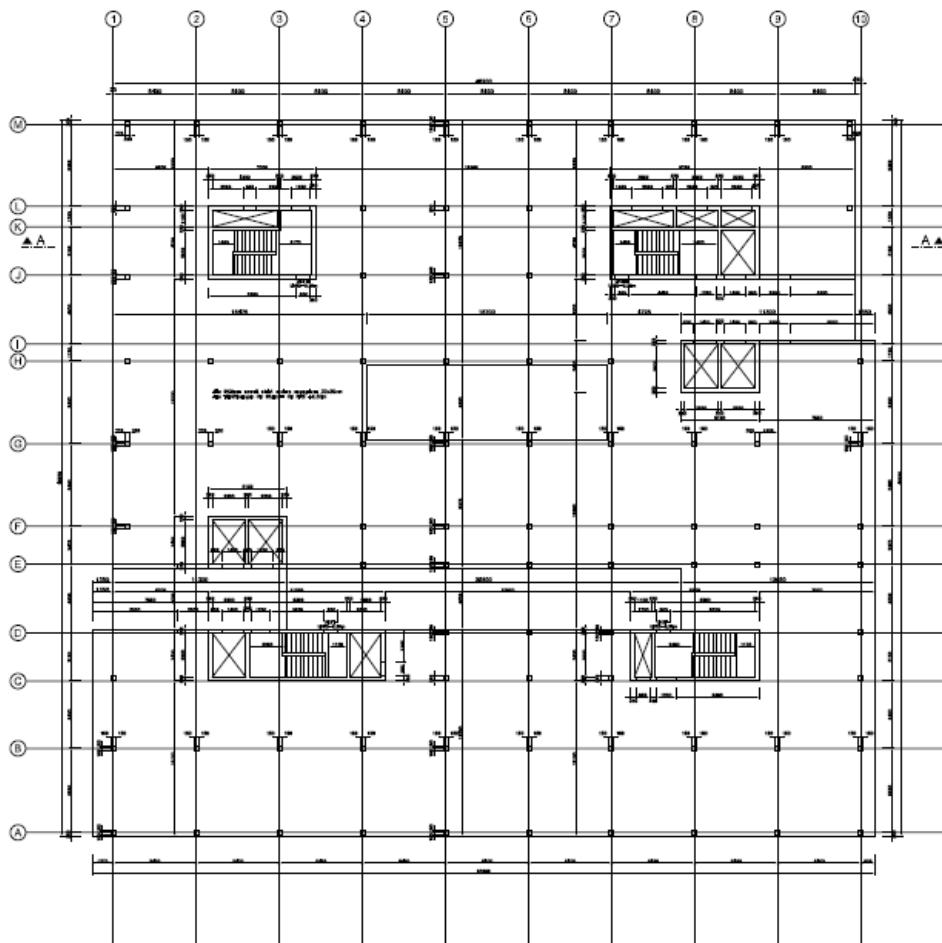


Bild 4: Grundriss – Regelgeschoss (Doka [1])

Das Hochhaus umfasst insgesamt 14 Geschosse (inkl. Dachgeschoss) und die Abmessung des Regelgeschosses beträgt ca. $50 \text{ m} * 47 \text{ m}$.

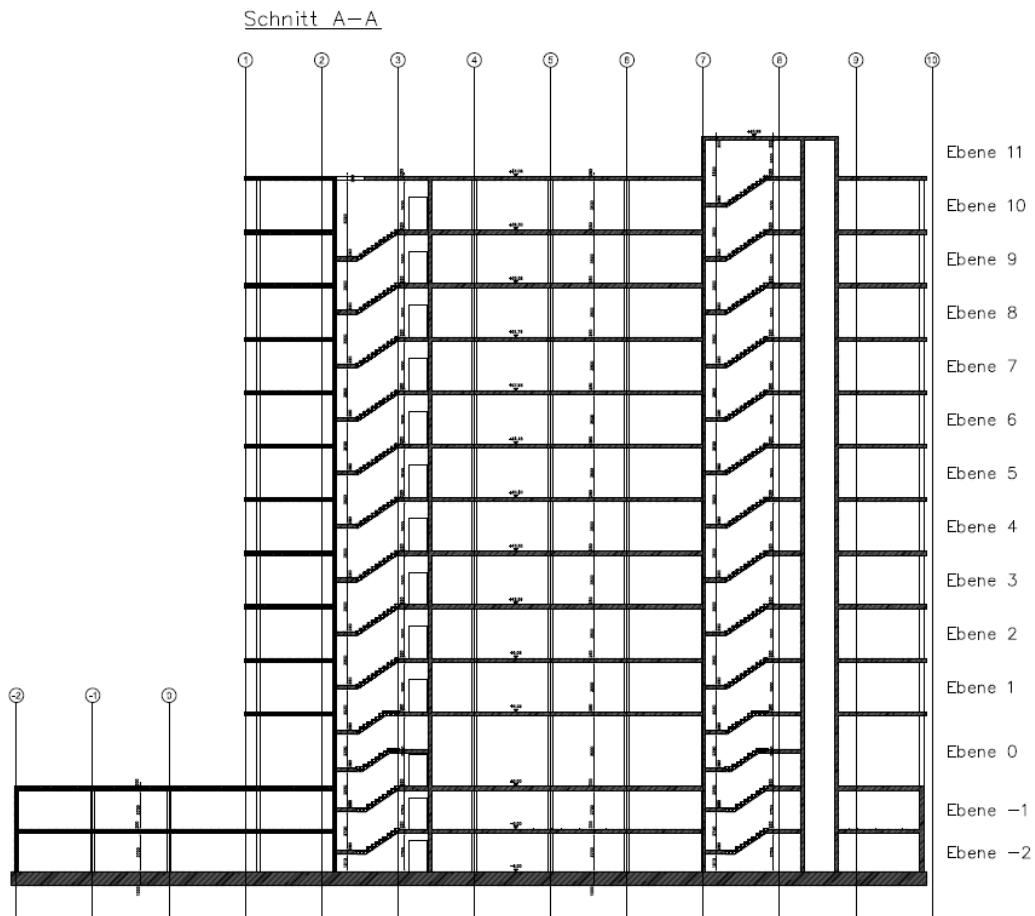


Bild 5: Schnitt (Doka [1])

Angaben zu den Mengen für Schalung, Bewehrung und Beton finden sich in Tabelle 1. Die Mengen folgen aus der Mengenermittlung anhand der vorliegenden Pläne. Mit der Schalfläche von rund 49.300 m² und der Betonmenge von rund 12.600 m³, folgt der Schalungsgrad für das gesamte Bauwerk mit ca. 3,9 m²/m³. Der Bewehrungsgrad wird aus der Bewehrungs- und Betonmenge mit ca. 147 kg/m³ berechnet.

Tabelle 1: Mengen für Schalung, Bewehrung und Beton

Bauteile	Schalfläche		Bewehrungsmenge		Betonmenge	
	[m ²]	[%]	[t]	[%]	[m ³]	[%]
1	2	3	4	5	6	7
Bodenplatte	225	0,46	431	23,28	3.080	24,39
Wände	5.553	11,26	103	5,56	739	5,85
Stützen	3.598	7,30	89	4,81	270	2,14
Schächte bzw. Kerne	15.554	31,54	266	14,37	1.902	15,06
Decken	24.386	49,45	962	51,97	6.638	52,56
Summe:	49.316	100	1.851	100	12.629	100

5.2 Lösung – Berechnungsmodus 3: Monte-Carlo-Simulation

Zur Berechnung des Transportgrades werden für die Monte-Carlo-Simulation die Werte aus Tabelle 2 eingesetzt. Insgesamt werden für eine Berechnung 50.000 Iterationen mit dem Programm @RISK durchgeführt. Bei dieser Anzahl an Iterationen gibt es in den Quantilen (X_5 und X_{95}) keine signifikanten Veränderungen.

Tabelle 2: Ansätze zur Berechnung der Anzahl der Transporte für die Stahlbetonarbeiten

	MIN	ERW	MAX
Transportgrad Schalen	0,0110 1/m ²	0,0120 1/m ²	0,0150 1/m ²
Schalungsgrad	3,60 m ² /m ³	3,90 m ² /m ³	4,00 m ² /m ³
Transportgrad Bewehren	0,0700 1/t	0,0800 Std/t	0,0900 1/t
Bewehrungsgrad	140,00 kg/m ³	150,00 kg/m ³	160,00 kg/m ³
Transportgrad Betonieren	0,10 1/m ³	0,12 1/m ³	0,14 1/m ³
Transportgrad Zuschlag	5,00 %	6,00 %	8,00 %
Betonmenge	12.000 m ³	12.629 m ³	13.000 m ³

Als Verteilungsfunktionen werden gewichtete Dreiecke verwendet. Das Ergebnis der Berechnung ist für die Anzahl der Transporte inkl. Zuschlag als Wahrscheinlichkeitsverteilung in Bild 6 dargestellt.

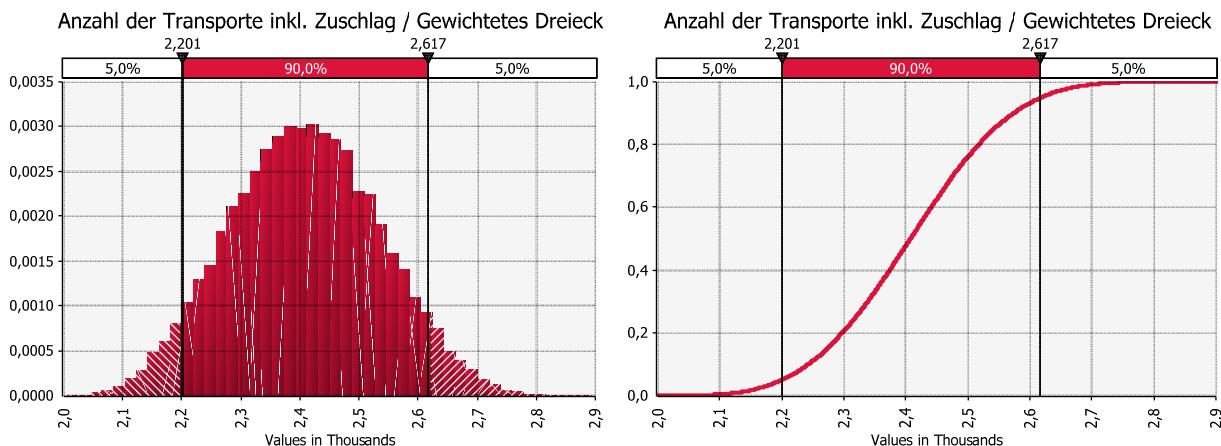


Bild 6: Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Anzahl der Transporte (aus @RISK [7])

Die Anzahl der Transporte für die Stahlbetonarbeiten liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % zwischen 2.201 [-] und 2.616 [-], die Spannweite beträgt damit 415 [-]. Dass die Transportanzahl über 2.616 [-] steigt, liegt bei einer Wahrscheinlichkeit von 5 % (X_{95}). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % liegt die Anzahl unter 2.201 [-] (X_5). Der Erwartungswert („Mean“) liegt bei ca. 2.408 [-]. Die Standardabweichung beträgt 125 [-].

6 Zusammenfassung

Im Beitrag wurden wesentliche Einflüsse auf die Beschaffungslogistik dargestellt. Für die Grobplanung der Beschaffungslogistik für die Phase Bauwerk-Rohbau wurden 3 Möglichkeiten aufgezeigt und eine davon näher erläutert, um die Anzahl der Transporte zu berechnen. Zur Berücksichtigung der Unschärfen aus den Bauwerksangaben, Baustellen-, Betriebs- und Bauverfahrensbedingungen sowie den Ansätzen für die Transportgrade wurde beschrieben, wie diese Unsicherheiten systematisch, stochastisch in der Berechnung berücksichtigt werden können. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Anzahl der Transporte in Zusammenhang mit den Stahlbetonarbeiten, wurde anhand der Monte-Carlo-Simulation mit dem Programm @RISK berechnet.

Mit steigender Detaillierung des Projektes sinken auch die Unschärfen und Unsicherheiten. Eine völlige Reduktion der Ungenauigkeiten ist nicht möglich. Auch für Detailbetrachtungen der Logistik für einzelne Gewerke, Bauphasen oder Bauteile kann die gezeigte Vorgangsweise angewendet werden.

Diese Methode kann beispielsweise auch im Vergleich der Transportlogistik zwischen verschiedenen Bauweisen angewendet werden (z.B. Vergleich zwischen Orthobeton- und Mischbauweise).

Durch die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Höhe der Anzahl der Transporte und deren Eintrittswahrscheinlichkeit, kann die Entscheidungssicherheit weiter gesteigert werden.

Weitere Untersuchungen zur Charakteristik von Verteilungsfunktionen für Transportgrade und Bauwerkskenngroßen (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.

Literatur

- [1] Doka: http://www.doka.com/doka/de_global/planning/schools/pages/05394/index.php. 17.8.2009, 13:05
- [2] Hofstadler, Christian: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2008
- [3] Hofstadler, Christian: Schalarbeiten - Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. Baubetrieb. 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2008
- [4] Hofstadler, Christian: Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten - Berechnungsmethoden und Anwendung. In Beton- und Stahlbetonbau, 5, 269-281

- [5] Hofstadler, Christian: Beschaffungslogistik für die Phase Bauwerk-Rohbau - Vereinfachte stochastische Berechnung der Anzahl der Transporte. In: 40 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz 2009
- [6] Raaber, Norbert: Beitrag zu Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz 2003
- [7] @RISK: Palisade Corporation, USA