

A 4 Beschaffungslogistik für die Phase Bauwerk-Rohbau

Vereinfachte stochastische Berechnung der Anzahl der Transporte

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

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Technische Universität Graz

Lessingstraße 25/II

8010 Graz

Inhaltsverzeichnis

1.	Situationsanalyse und Zielsetzung	67
2.	Einflüsse auf die Beschaffungslogistik.....	67
3.	Grundlagen zur Berechnung der Gesamtanzahl der Transporte	69
3.1	Gesamtanzahl der Transporte für die Beschaffungslogistik.....	70
4.	Deterministische und vereinfachte stochastische Berechnung der Anzahl der Transporte	73
4.1	Berechnungsmodus 1 – Deterministischer Ansatz	73
4.2	Berechnungsmodus 2 – Vereinfachter stochastischer Ansatz.....	73
5.	Anwendung der Berechnungsmethoden.....	74
5.1	Hochhausprojekt – wesentliche Angaben.....	74
5.2	Lösung – Berechnungsmodus 1: deterministischer Ansatz	76
5.3	Lösung – Berechnungsmodus 2: vereinfachter stochastischer Ansatz.....	77
6.	Zusammenfassung	78
7.	Literaturverzeichnis.....	78



Baulogistik wird in Beschaffungs-, Produktions- und Entsorgungslogistik untergliedert. Die Baulogistik hat in Abhängigkeit vom Standort der Baustelle eine hohe Bedeutung hinsichtlich eines wirtschaftlich effektiven Einsatzes der Produktionsfaktoren. 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. 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 Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung dargestellt. Die Anwendung der beschriebenen Vorgehensweisen für die Ermittlung der Anzahl der Transporte wird anhand eines Hochbauprojektes gezeigt.

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 (in diesem Beitrag nicht dargestellt). Dazu werden einzelne ausgewählte Parameter im Berechnungsschema jeweils mit einer Verteilungsfunktion belegt. Die Werte für die Bandbreite werden unter Berücksichtigung der baubetrieblichen und bauwerksspezifischen Randbedingungen gewählt. Als Ergebnis wird für die gesuchten Größen jeweils eine Wahrscheinlichkeitsverteilung dargestellt.

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.

Im Rahmen der Entsorgungslogistik wird der Abtransport von Gerät, Material und Reststoffen 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 (geböschst 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. Anzahl der Transporte 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 eine einfache Möglichkeit aufgezeigt, um entstehende Unschärfen systematisch zu berücksichtigen (vereinfachte stochastische Betrachtung). Für die für Berechnungen erforderlichen Kennzahlen zur Beschaffungslogistik werden Werte in Bandbreiten angegeben.

2. Einflüsse auf die Beschaffungslogistik

Eine Auswahl an maßgeblichen Einflüssen auf die Beschaffungslogistik ist 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 Bau-

ausführung. 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.).

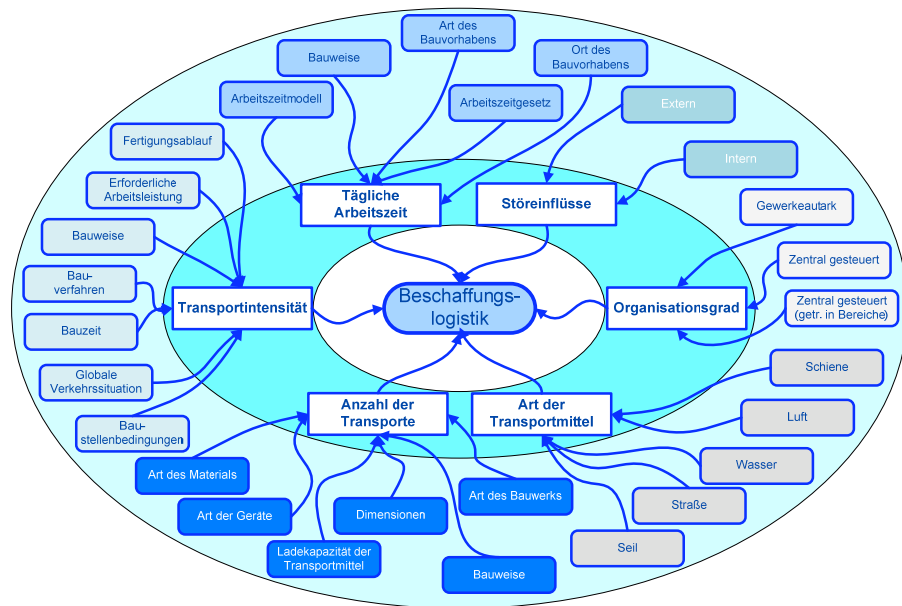


Bild 1: Maßgebende Einflüsse auf die Beschaffungslogistik

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. Tendenziell kann für die Grobplanung der Stahlbetonarbeiten der Verlauf der Transporte über die Bauzeit wie folgt dargestellt werden (siehe Bild 2).

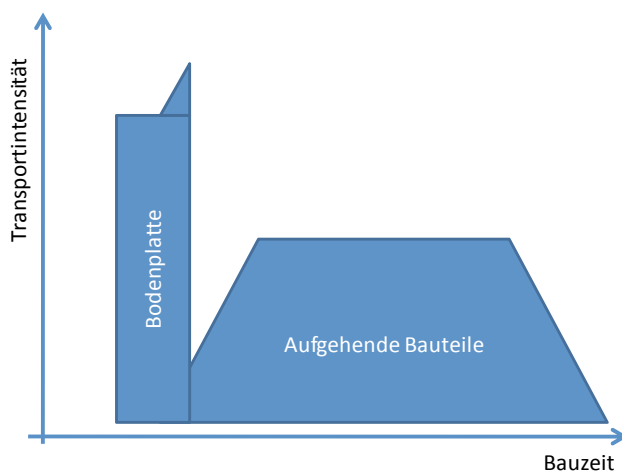


Bild 2: Schematischer Verlauf der Transporte für die Stahlbetonarbeiten über die Bauzeit (Hofstadler)

Für die Stahlbetonarbeiten fallen für die Bodenplatte in einem relativ kurzen Zeitraum die meisten Transporte an. Für die feingliedrigeren aufgehenden Bauteile steigen die Transporte in der Anlaufphase bis zur Hauptbauzeit an und verlaufen in dieser Phase annähernd konstant; einzelne Transportspitzen (Darstellung und Bearbeitung im Zuge der Feinplanung) sind dabei in der Regel nicht zu vermeiden. Nach der Hauptbauphase sinkt in der Auslaufphase die Anzahl der Transporte für die Stahlbetonarbeiten bis zum Nullwert.

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. Typische Just-in-Time Transporte sind die Betontransporte.

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.

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 (jeweils bezogen auf den 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 0,02 und 0,025 [$1/m^3$] angenommen werden.

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

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

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.

Überschlägig kann der Transportgrad für Stahlbetonarbeiten bezogen auf die Betonmenge des Bauwerks zwischen 0,15 und 0,2 [1/m³] angenommen werden¹.

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

$$ANZ_{TP,BWK,STB} = BT_{M,BWK} * tp_{g,rb,stab} \quad (6)$$

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 $ANZ_{TP,BWK,STB,ZU}$ [-].

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

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.

$$BT_{M,BWK} = \frac{BRI_{BWK}}{obt_{g,bwk}} \quad (8)$$

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 anzusetzen².

3.1.2 Feinplanung

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

¹ Hofstadler (2008). Schalarbeiten - Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. 465

² Hofstadler (2008). Schalarbeiten - Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. 464

Für die Schalarbeiten folgt der Transportgrad $tp_{g,s}$ [$1/m^2$] bezogen auf die Schalfläche (einfache Fahrt) aus Glg. 9:

$$tp_{g,s} = \frac{V_S}{S_{F,BWK} * S_{M,TP}} \quad (9)$$

Im Zähler wird die gesamte Vorhaltemenge V_S [m^2] an Schalung eingesetzt. Werte für die gesamte Schalungsfläche des Bauwerks $S_{F,BWK}$ [m^2] und die durchschnittliche Schalungsfläche $S_{M,TP}$ [m^2], 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 [$1/m^2$] angenommen werden³.

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 0,1 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:

³ Hofstadler (2008). Schalarbeiten - Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. 464

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

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 m³ 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

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.

4.2 Berechnungsmodus 2 – Vereinfachter stochastischer Ansatz

Der Berechnungsmodus mit der vereinfachten Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist in Bild 3 dargestellt.

Für die jeweiligen Eingangswerte in die Berechnungsgleichungen 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 Addition der drei Produkte erhält man den subjektiv wahrscheinlichsten Wert.

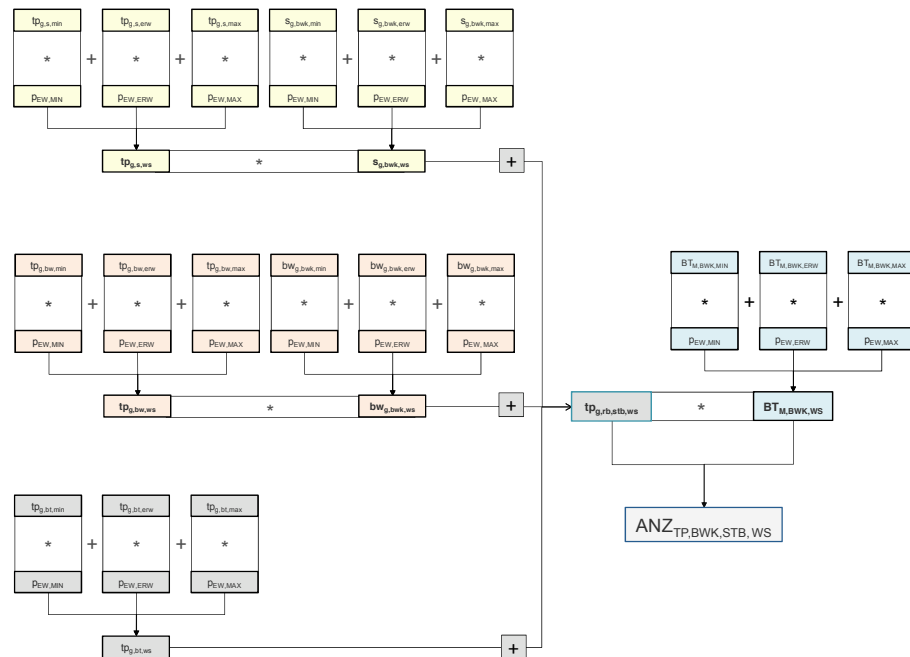


Bild 3: Berechnungsmodus 2 – Ermittlung der Anzahl an Transporten für die Stahlbetonarbeiten: Vereinfachte Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung⁴

Für die Eintrittswahrscheinlichkeit gilt:

$$\sum p_{EW,i} = 1 \tag{14}$$

Zur Berechnung der subjektiv wahrscheinlichsten Anzahl an Transporten werden vorher die Werte für den Transportgrad für die Stahlbetonarbeiten und der Betonmenge ermittelt.

5. Anwendung der Berechnungsmethoden

5.1 Hochhausprojekt – wesentliche Angaben

In Bild 4 ist der Grundriss des Regelgeschosses angeführt. Das Gebäude besteht aus zwei Untergeschossen, einem Erdgeschoss sowie 10 Obergeschossen (siehe Bild 5). Die max. Gebäudegrundfläche im Untergeschoss beträgt ca. 3.025 m². 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.

⁴ in Anlehnung an Hofstadler (2009). Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten - Berechnungsmethoden und Anwendung. 273

Anzahl der Geschosse: 13 (= 14 Ebenen)

Abmessungen – Regelgeschoss: ca. 50 m * 47 m

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.

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

Tabelle 1: Mengen für Schalung, Bewehrung und Beton

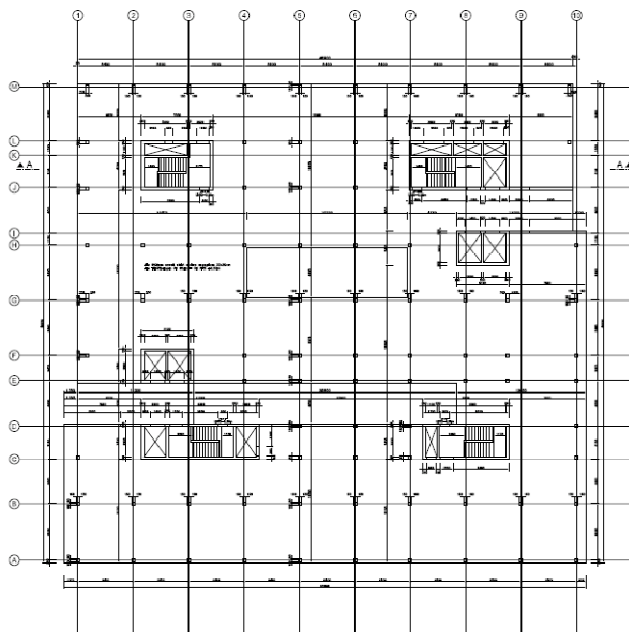


Bild 4: Grundriss – Regelgeschoss (Doka [1])

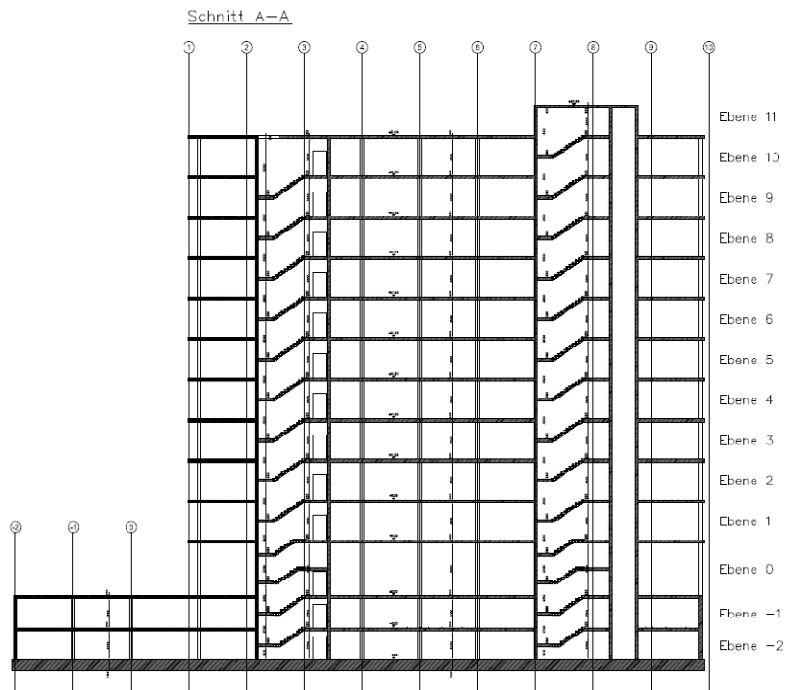


Bild 5: Schnitt (Doka [1])

5.2 Lösung – Berechnungsmodus 1: deterministischer Ansatz

Zur Berechnung des Transportgrades werden für einen Berechnungsdurchgang folgende Werte angesetzt (siehe Tabelle 2):

Transportgrad Schalen	0,0009 1/m ²
Schalungsgrad	3,90 m ² /m ³
Transportgrad Bewehren	0,0800 1/t
Bewehrungsgrad	150,00 kg/m ³
Transportgrad Betonieren	0,1500 1/m ³

Tabelle 2: Ansätze zur Berechnung des Transportgrades für die Stahlbetonarbeiten

Nach Einsetzen der Werte aus Tab.2 in Glg. 5 folgt für den Transportgrad 0,1655 1/m³. Dieser Wert dient als Grundlage zur Berechnung der Anzahl an Transporten nach Berechnungsmodus 1. Nach Einsetzen der Betonmenge von 12.629 m³ und des berechneten Transportgrades in Glg. 6 folgt die Anzahl an Transporten für die Stahlbetonarbeiten mit ca. 2.090. Nach Berücksichtigung eines Zuschlags von 10 % für sonstige Transporte und Unsicherheiten, folgt die Anzahl an Transporten aus Glg. 7 mit rund 2.299. Bei Änderung eines Eingangswertes ergibt sich ein neuer Wert für die Anzahl der Transporte. Die Werte werden so verändert, damit sich ein erwarteter Maximal- und Minimalwert ergibt. Innerhalb dieser Grenzen wird man sich für einen Wert entscheiden.

5.3 Lösung – Berechnungsmodus 2: vereinfachter stochastischer Ansatz

Zur Berechnung des Transportgrades für die Stahlbetonarbeiten werden die Werte nach Tabelle 3 angesetzt. Diese Werte stammen beispielsweise aus Erfahrungen vergangener Projekte, die an die spezifischen Bedingungen anzupassen sind.

		MIN	ERW	MAX
Transportgrad Schalen	Ansatz	0,00083 1/m ²	0,0009 1/m ²	0,001 1/m ²
	Eintrittswahrscheinlichkeit	5 %	75 %	20 %
Schalungsgrad	Ansatz	3,6 m ² /m ³	3,9 m ² /m ³	4 m ² /m ³
	Eintrittswahrscheinlichkeit	25 %	70 %	5 %
Transportgrad Bewehren	Ansatz	0,070 1/t	0,080 1/t	0,090 1/t
	Eintrittswahrscheinlichkeit	10 %	75 %	15 %
Bewehrungsgrad	Ansatz	140 kg/m ³	150 kg/m ³	160 kg/m ³
	Eintrittswahrscheinlichkeit	5 %	75 %	20 %
Transportgrad Betonieren	Ansatz	0,140 1/m ³	0,150 1/m ³	0,160 1/m ³
	Eintrittswahrscheinlichkeit	5 %	85 %	10 %

Tabelle 3: Ansätze zur Berechnung des Transportgrades für die Stahlbetonarbeiten – Berechnungsmodus 2

Durch Einsetzen der Werte in das Berechnungsschema nach Bild 3 ergibt sich für den Transportgrad der wahrscheinlichste Wert mit 0,1662 [1/m³]. Für die Betonmenge und den Zuschlag, werden die Werte nach Tabelle 4 eingesetzt und man erhält daraus die gesuchten Werte.

		MIN	ERW	MAX
Betonmenge	Ansatz	12.000 m ³	12.629 m ³	13.000 m ³
	Eintrittswahrscheinlichkeit	2 %	75 %	23 %
Zuschlag	Ansatz	5 %	10 %	15 %
	Eintrittswahrscheinlichkeit	15 %	75 %	10 %

Tabelle 4: Ansätze zur Berechnung der Anzahl der Transporte – Berechnungsmodus 2.

Mit der wahrscheinlichsten Betonmenge von 12.702 m³, folgt die subjektiv wahrscheinlichste Anzahl an Transporten mit ca. 2.111 [-].

Nach Berücksichtigung des wahrscheinlichsten Puffers von 9,75 % erhält man die Anzahl an Transporten für die Stahlbetonarbeiten mit rund 2.317 [-]. Aus der Mengenaufstellung in Tabelle 1 geht hervor, dass ca. 25 % der Beton- und Bewehrungsmenge auf die Bodenplatte entfallen.

Daraus kann man für die Grobplanung folgern, dass auch 25 % der Transporte für diesen Bauteil notwendig sind. Für die Bodenplatte ergeben sich daher ca. 579 Transporte und für die aufgehenden Bauteile wie z. B. Wände und Decken insgesamt ca. 1.738 Transporte. Die Verteilung der Transporte über die Bauzeit kann für die Grobplanung wie in Bild 2 dargestellt, angenommen werden.

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 zwei davon näher erläutert, um die Anzahl der Transporte zu berechnen. Zur Berücksichtigung der Unschärfen zu den Bauwerksangaben, Baustellen- und Betriebsbedingungen sowie den Ansätzen für die Transportgrade wurde beschrieben, wie diese Unsicherheiten systematisch, vereinfacht stochastisch in der Berechnung berücksichtigt werden können.

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.

Durch die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Höhe der Anzahl der Transporte und deren Eintrittswahrscheinlichkeit, kann die Entscheidungssicherheit weiter gesteigert werden (im Beitrag nicht dargestellt).

7. Literaturverzeichnis

- [1] Doka (2009).
http://www.doka.com/doka/de_global/planning/schools/pages/05394/index.php, 17.8.2009, 13:05.
- [2] Hofstadler, C. (2007): Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [3] Hofstadler, C. (2008): Schularbeiten - Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [4] Hofstadler, C. (2009): Bauzeit und Baukosten für Stahlbetonarbeiten – Berechnungsmethoden und Anwendung. In Beton- und Stahlbetonbau, 5, 269-281.