



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Diplomarbeit  
Master Thesis

# **Baubetriebliche Rahmenbedingungen, Gegenüberstellung und Wirtschaftlichkeitsanalyse zwischen Betonfertigteilbau und Ortbetonbauweise anhand von Decken- und Wandsystemen im Hochbau**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald GOGER**

und als verantwortlichen mitwirkenden Assistenten

**Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald Urban**

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement

von

**Faisal Ahmed**

■■■■■

■■■■■■■■■■

■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■

Wien, am 20.05.2022

\_\_\_\_\_  
(Faisal Ahmed)

## Danksagung

Gleich zu Beginn möchte ich meinem langjährigen Arbeitgeber Fa. **Franz OBERNDORFER** großen Dank aussprechen. Seit 2007 wurde mir die Möglichkeit gewährt, einen tiefen Einblick in die Betonfertigteilebranche zu erlangen. Hier gebührt besonderer Dank an Hrn. Wolfgang Gigelleitner, welcher anfangs für meine Einschulung und Betriebsbesichtigung zuständig war und mich laufend betreut hatte.

Ich bedanke mich recht herzlich bei meinen **Studienkollegen**<sup>1</sup> der TU-Wien. Meinen langjährigen **Freunden** möchte ich ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Den Mitarbeitern des Institutes für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, allen voran Hrn. **Prof. GOGER**, möchte ich mich für die vorgetragenen Lehrveranstaltungen, welche sehr belehrend und unterhaltsam waren, großen Dank aussprechen. An dieser Stelle möchte ich mich bei Hrn. **DI Urban Harald** für seine Hilfe und zahlreichen Ratschläge bei der Verfassung meiner Masterarbeit recht herzlich bedanken.

Besonderer Dank gebührt meinen **Eltern** und meiner **Familie**, die mich während der gesamten Studienzeit unterstützten.

---

<sup>1</sup> Genderhinweis: Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die feminine oder maskuline Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

## Kurzfassung

Stahlbetonwände und Stahlbetondecken können aus Ortbeton, Halbfertigteilen oder Vollfertigteilen hergestellt werden. Bei der Ortbetonbauweise erfolgen die Vorgänge Schalen – Bewehren – Betonieren zu 100 % auf der Baustelle, während bei der Fertigteilbauweise Vorgänge, wie Bewehren oder Betonieren, teils oder zur Gänze in stationären Industrieanlagen hergestellt werden.

In dieser Arbeit werden einerseits Ortbetonwände und Fertigteilelementwände und andererseits Ortbetondecken und Elementdecken behandelt. Vollfertigteile werden nicht behandelt. Ziel dieser Arbeit ist die Betrachtung des Betonfertigteileinsatzes von der Herstellung bis hin zum Einbau und die Gegenüberstellung mit der Ortbetonbauweise. Dazu werden die Grundlagen beider Bauweisen ausgearbeitet. Diese beinhalten unter anderem die Planung, Herstellung, Logistik, Baustelleneinrichtung, Montage und Einbau. Desweiteren werden Bauabläufe und Hilfsmitteln für die Herstellung von Stahlbetonwänden und Stahlbetondecken jeweils in Ortbeton und Fertigteilbauweise beschrieben. Anschließend werden wesentliche Unterschiede beider Bauweisen ausgearbeitet und eine Gegenüberstellung nach verschiedenen Kriterien durchgeführt.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit stellen die Wirtschaftlichkeitsanalysen dar. Die Einzelkosten einer 25 cm dicken Stahlbetonwand mit Tür- und Wandaussparungen werden getrennt in Ortbeton- und Fertigteilbauweise, zunächst für eine Wandansichtsfläche von ca. 100 m<sup>2</sup> berechnet und diese, dann bis zum Betrachtungsende von 30.000 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche hochgerechnet, um mengengestaffelte Kostenverläufe beider Bauweisen zu erhalten. Hierfür werden die Materialkosten von verschiedenen Herstellern und Lieferanten eingeholt und für die Kalkulation ein Durchschnitt gebildet. Aufwandswerte für die Berechnung des Lohnanteils werden der Literatur entnommen, wobei für das Versetzen von Hohlwänden eine Zeitmessung durchgeführt wurde. Im Rahmen dieser Berechnung wird ein Materialvergleich hinsichtlich der Bewehrungsmenge beider Bauweisen durchgeführt. Des Weiteren werden für eine gegebene Deckenstärke und Spannweite die Einzelkosten zweier Bauweisen berechnet. Die Kostenberechnung erfolgt auf Grundlage eines Einfeldträgersystems mit Standard Auflasten im Wohnbau, ohne Berücksichtigung von Transport-, Kran- oder Gerätekosten. Die ermittelten Einzelkosten werden sodann in einer eigens präparierten Tabelle eingetragen und können für Kostenabschätzungen herangezogen werden.

## Abstract

Reinforced concrete walls and reinforced concrete ceilings can be made of in-situ concrete, semi-finished parts or fully finished parts. On the one hand the in-situ concrete wall and the in-situ concrete ceiling, on the other hand the element ceiling and the cavity wall are treated as semi-finished parts. Fully finished parts are not treated. With in-situ concrete construction, the processes of shell reinforcement - reinforcing with concrete - is carried out 100 % on site, while with precast concrete construction processes such as reinforcement or reinforcing concrete are partly or completely outsourced. The goal of this work is to examine the use of precast concrete elements from production to installation and to compare it with in-situ concrete construction. For this purpose, the basics of both construction methods are worked out. These include planning, manufacturing, logistics, construction site equipment, assembly and installation. Additionally, construction processes and auxiliary materials for the production of reinforced concrete walls and reinforced concrete ceilings are each described in in-situ concrete and precast construction. Only then can essential differences between the two construction methods be seen and a comparison according to various criteria can then be presented in a structured manner.

A further focus of this work is the economic analyses. The individual costs of a 25 cm thick reinforced concrete wall with door and wall recesses are calculated separately in in-situ concrete and precast construction, first for a visible wall area of almost 100 m<sup>2</sup> and then extrapolated up to the end of the study of 30.000 m<sup>2</sup> of visible wall area in order to obtain quantity-staggered cost curves for both construction methods. For this purpose, the material costs are collected from various manufacturers and suppliers and an average is formed for the calculation. Expenditure values for the calculation of the wage share are taken from literature, whereby a time measurement was carried out for the relocation of hollow walls. Within the scope of this calculation, a material comparison is also carried out with regard to the reinforcement quantity of both construction methods.

A further aim of this work is to determine individual costs for cost estimates depending on only one slab thickness and one span width. The cost calculation is carried out on the basis of a single span girder system with the usual surcharges for residential buildings, without taking transport, crane or equipment costs into account. The individual costs determined are then entered in a table prepared for this purpose.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	I
Kurzfassung.....	II
Abstract .....	III
Inhaltsverzeichnis .....	1
1 Einleitung.....	5
1.1 Zielsetzung .....	6
1.2 Aufbau der Diplomarbeit .....	7
2 Grundlagen Betonfertigteilbauweise .....	8
2.1 Vor- und Nachteile der Vorfertigung.....	8
2.2 Planung .....	10
2.2.1 Fertigungsplanung.....	10
2.2.2 Montageplanung.....	12
2.3 Montage .....	13
2.4 Beton.....	13
2.5 Baustelleneinrichtung .....	13
2.6 Elementdecke.....	17
2.6.1 Systembeschreibung .....	17
2.6.2 Produktion .....	20
2.6.3 Baustelleneinrichtung .....	30
2.7 Hohlwand .....	36
2.7.1 Systembeschreibung .....	36
2.7.2 Produktion .....	39
3 Grundlagen Ortbetonbauweise .....	42
3.1 Vorteile der Ortbetonbauweise.....	42
3.2 Nachteile der Ortbetonbauweise.....	43
3.3 Planung .....	43
3.3.1 Schalungsplanung .....	43
3.3.2 Arbeitsfugen .....	45

3.3.3	Taktfertigung und Bauablaufplan .....	45
3.4	Schalungssysteme.....	46
3.4.1	Aufbau, Übersicht, Bestandteile der Schalung .....	46
3.4.2	Wandschalung .....	50
3.4.3	Deckenschalung .....	51
3.5	Arbeiten mit Beton .....	53
3.5.1	Betonförderung.....	53
3.5.2	Einbringen und Verteilen von Beton.....	54
3.5.3	Verdichten von Beton .....	57
3.5.4	Nachbehandlung .....	59
4	Gegenüberstellung von Betonfertigteilm Bauweise und Ortbetonbauweise .....	60
4.1	Planung .....	60
4.1.1	Elementdecke.....	60
4.1.2	Hohlwand .....	62
4.1.3	Ortbetonbauweise .....	63
4.2	Produktion .....	64
4.3	Logistik - Transport und Lagerung .....	64
4.4	Bauablauf .....	66
4.4.1	Elementdecke.....	66
4.4.2	Ortbetondecke .....	69
4.4.3	Hohlwand .....	72
4.4.4	Ortbetonwand.....	74
4.5	Gegenüberstellung .....	75
5	Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	79
5.1	Kalkulationsgrundlagen .....	79
5.1.1	Grundformel der Gesamtpreisbildung .....	79
5.1.2	Mittelohnkosten .....	82
5.1.3	Leistungswert .....	82
5.1.4	Aufwandswert.....	83

5.2	Lohn-, Material- und Gerätekosten .....	90
5.2.1	Schalung .....	92
5.2.2	Bewehrung .....	96
5.2.3	Beton .....	101
5.2.4	Elementdecke .....	103
5.2.5	Hohlwände .....	104
5.3	Kalkulation Wand - Musterbeispiel .....	106
5.3.1	Basisvorgaben (Kalkulationsannahmen) .....	107
5.3.2	Kalkulation Ortbetonwand .....	108
5.3.3	Kalkulation Hohlwand .....	116
5.3.4	Kalkulativer Verfahrensvergleich .....	123
5.4	Kalkulation Decke – Musterbeispiel .....	131
5.4.1	Basisvorgaben (Kalkulationsannahmen) .....	132
5.4.2	Kalkulation Ortbetondecke .....	133
5.4.3	Kalkulation Elementdecke .....	138
5.4.4	Ergebnis .....	142
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	144
	Literaturverzeichnis .....	148
	Anhang A .....	151
	Anhang B .....	154
	Anhang C .....	155
	Anhang D .....	159
	Anhang E .....	160
	Anhang F .....	164
	Anhang G .....	166
	Anhang H .....	168
	Anhang I .....	169
	Anhang J .....	173
	Anhang K .....	174

Anhang L .....	175
Abbildungsverzeichnis .....	177
Tabellenverzeichnis .....	180
Abkürzungsverzeichnis .....	182

## 1 Einleitung

Das Bauen ohne Fertigteile ist heutzutage vor allem in Länder mit hohen Lohnkosten ein wesentlicher Bestandteil in der Bauausführung. In Zeiten des hohen Termin- und Kostendrucks, ist der Verantwortliche des Projekts gegenüber dem Kunden stark gefordert. Es wird daher nach kostengünstigen Lösungen gesucht. Fertigteile können hier entscheidend mitwirken. Manche Bauvorhaben können sogar nur mehr als Fertigteile wirtschaftlich konstruiert und ausgeführt werden. Das neue Rapid-Stadion beispielsweise, wurde von Beginn an als Betonfertigteile konzipiert, da andere Verfahrensweisen bei der gewählten Architektur womöglich nicht zum gewünschten Ziel (Kosten, Termineinhaltung, Qualität etc.) geführt hätten.

Fertigteile bringen viele Vorteile mit sich. Bauzeitverkürzung, zum Beispiel, kann bei pönanalisierten Bauvorhaben ein entscheidendes Kriterium sein, weshalb Fertigteile eingesetzt werden. Die hohe Maßgenauigkeit reduziert außerdem Bauablaufstörungen. Die heutige Palette von Fertigteileprodukten ist sehr umfangreich. Durch Sonderlösungen konnten viele Gebiete des Bauwesens umfasst werden. Fertigteile werden im

- ◆ Brückenbau,
- ◆ Tiefbau (Betonrohre, Köcher,- Blockfundamente, Pfähle,...),
- ◆ Hochbau (Wände, Decken, Träger, Binder, Stützen, Fassaden,...)
- ◆ Tunnelbau (Tübbing, ...),
- ◆ Straßenbau (Fahrbahnträger, Lärmschutzwände, Leitwände,...)
- ◆ Eisenbahnbau (Betonschweller, Masten,...)
- ◆ Handel als „Betonwaren“ (kleinformatige Produkte wie etwa Pflastersteine, Betonrohre,...) abgesetzt und für
- ◆ Sonderbauten eingesetzt.<sup>2</sup>

Bei architektonisch und statisch anspruchsvollen Projekten sind jedoch die Grenzen des Fertigteilbaus schnell erreicht, weshalb alternative Bauweisen, wie etwa die Ort betonbauweise, zum Einsatz gelangen. Abb. 1.1 zeigt Außenwände aus Beton, in denen die verschieden großen Fensteröffnungen untereinander versetzt angeordnet sind. Ort betonbauweise war für die Realisierung dieses Projektes das gewählte Bauverfahren. Bei einer Realisierung der Fertigteilbauweise würden Bereiche entstehen, die nicht mehr aus Fertigteilen hergestellt werden können, weil die Elementteilung im Fertigteilbau dies nicht mehr zulässt, oder die statischen Grenzen schnell erreicht sind. Aufgrund der großen Fensteröffnungen würden sich noch dazu ungünstige Plattengeometrien ergeben, woraufhin Platten unter Umständen nicht mehr transportfähig sind.

---

<sup>2</sup> Vgl. Bachmann: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2010, S. 1.



Abb. 1.1: Ortbetonbauweise

## 1.1 Zielsetzung

Fertigteil ist ein sehr dehnbarer Begriff. Heute kann nahezu alles aus Fertigteilen hergestellt werden. Fertigteile können entweder direkt vor Ort auf der Baustelle in einer eigens dafür vorgesehenen temporären Fertigungshalle (Bsp. Tübbing-Produktion auf einer Tunnelbaustelle) oder in einer stationären Fertigungsfabrik hergestellt werden. Diese vorliegende Arbeit befasst sich nur mit den werksgefertigten Betonfertigteilen im klassischen Hochbau. Es werden Deckensysteme (Elementdecke, Ortbetondecke) und Wandsysteme (Hohlwand, Ortbetonwand) betrachtet und miteinander verglichen. Baubetriebliche und verfahrenstechnische Unterschiede dieser Bauweisen gilt es, auszuarbeiten und gegenüberzustellen. Sobald diese Unterschiede feststehen, können Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchgeführt werden. Wirtschaftlichkeitsanalysen sollen abschließend anhand von Musterprojekten durchgeführt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

### Frage 1

*Welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Unterschiede bestehen zwischen der Ortbetonbauweise und Fertigteilbauweise?*

### Frage 2

*Wie sieht die Gesamtkostenverteilung (Bewehrung, Schalung, Transport,...) auf der Baustelle für ein Musterbeispiel einer Ortbeton-Stahlbetonwand und einer Fertigteil-Hohlwand bei zunehmender Wandfläche aus? Welches dieser Bauverfahren kommt anhand dieser Analyse bei welchen Wandflächen zur Anwendung?*

### Frage 3

*Treten Mengenunterschiede bei der Wandbewehrung zwischen den beiden Verfahrensvarianten auf? Was sind die Ursachen?*

### Frage 4

*Vergleichen Sie die Gesamtkosten (Bewehrung, Schalung, Transport,...) auf der Baustelle für ein Musterbeispiel einer Ortbeton-Stahlbetondecke und einer Fertigteil-Elementdecke bei gleicher Spannweite für den kleinvolumigen Wohnbau.*

### 1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Der erste Abschnitt behandelt die Frage, welche Ergebnisse mit dieser Masterarbeit angestrebt werden und es findet eine exakte Eingrenzung der doch mittlerweile sehr umfangreich gewordenen Betonfertigteilbauweise statt. Im zweiten Abschnitt werden die Grundlagen der Betonfertigteilbauweise beschrieben. Dies umfassen die Planung und die Herstellung, Auslieferung und schließlich Einbau von Betonfertigteildecken und Betonfertigteilwänden. Der ganze Zyklus von der Planung bis hin zum Einbau wird betrachtet. Dazu gehören die baubetrieblichen und verfahrenstechnischen Aspekte dazu. Was wird bei einem Einsatz von Betonfertigteilen zusätzlich auf der Baustelle benötigt? Auf welche Besonderheiten muss besonders geachtet werden? Im dritten Abschnitt wird analog, wie im zweiten Abschnitt vorgegangen, hier werden die Grundlagen der Ortbetonbauweise näher beschrieben. Die Planung, Herstellung und die Organisation von Ortbetondecken und Ortbetonwänden wird strukturiert dargestellt. Die Bauabläufe auf einer Ortbetonbaustelle werden näherbetrachtet.

Die aus dem zweiten und dritten Abschnitt erarbeiteten Grundlagen werden im vierten Abschnitt thematisch gegenübergestellt und anschließend tabellarisch nach verschiedenen Kriterien zusammengefasst. Der Bauablauf bzw. Baubetrieb auf einer Ortbetonbaustelle ist zweifellos ein anderer, als auf einer Betonfertigteilbaustelle. Dieses Thema wird ebenfalls in diesem Abschnitt behandelt.

Der fünfte Abschnitt dieser Arbeit befasst sich mit der Frage, welche der beiden Verfahrensvarianten, ob Betonfertigteilbauweise oder Ortbetonbauweise bei welchen Rahmenbedingungen wirtschaftlicher sind. Zunächst wird eine Stahlbetonwand im Hochbau unter Berücksichtigung von Wandaussparungen für beide Bauweisen kalkuliert. Um diese Aufgabenstellung exakt zu lösen gilt es, die fertige Wand in „Arbeitsschritte“ zu zerlegen. Jeder Arbeitsschritt wird sodann mit Material- Geräte- und Lohnkosten behaftet. Die Aufsummierung der Kosten von allen erforderlichen Arbeitsschritten ergeben dann schlussendlich die gesamten Kosten der Wand. Die ermittelten Kosten beider Bauweisen werden verglichen und gegenübergestellt. Im Zuge dieser Gegenüberstellung erfolgt ein Materialvergleich zwischen Ortbetonwänden und Hohlwänden. Ein weiteres Ziel im fünften Abschnitt besteht darin, die Einzelkosten einer Ortbetondecke und Elementdecke zu berechnen, auf Grundlage einer vorgegebenen Stützweite und Deckenstärke. Diese Kosten sollen in einer Tabelle eingetragen werden. Der sechste Abschnitt enthält eine kurze Zusammenfassung dieser Arbeit, die Beantwortung der Forschungsfragen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse.

## 2 Grundlagen Betonfertigteilbauweise

Die Fertigteilbauweise ist eine Montagebauweise, ähnlich der Stahl- und Holzbauweise, bei der die Bauteile mit hohem Vorfertigungsgrad hergestellt werden.<sup>3</sup> Vorfertigung ist eine industrielle Fertigungsmethode, bei der die Bauteile in einer witterungsgeschützten Fertigungshalle produziert werden und im erhärteten Zustand anschließend vor Ort auf der Baustelle am vorgesehenen Einbauort montiert werden. Grundsätzlich kann dabei die Herstellung in einem stationären Fertigteilwerk (große Serie, aber begrenzte Elementgröße wegen dem Transport) oder temporär auf der Baustelle (kleine Serie, weniger begrenzte Elementgröße) auf einem dafür eigens vorgesehenen Platz erfolgen.<sup>4</sup> Dieses Kapitel gibt einen Einblick über die Grundlagen im Betonfertigteilbau. Es werden Vor- und Nachteile erläutert, relevante Punkte betreffend Planung, Montage und die erforderliche Baustelleneinrichtung dieser Bauweise beschrieben. Abschließend wird die Elementdecke und die Hohlwand ausführlich behandelt, insbesondere deren Produktion. Erst nach dieser Grundlagenrecherche wird eine Gegenüberstellung mit der Ortbetonbauweise durchgeführt.

### 2.1 Vor- und Nachteile der Vorfertigung

In Abhängigkeit des Vorfertigungsgrades ergeben sich Vor- und Nachteile, welche in diesem Abschnitt zusammenfassend erwähnt werden. Nachstehend werden einige Vorteile aufgezählt, welche für eine Vorfertigung sprechen.<sup>5</sup>

- ◆ Ein Hauptargument für den Einsatz von Betonfertigteilen ist die Reduzierung der Herstellkosten des zu errichtenden Bauwerks, welche durch den Entfall bzw. Minimierung der Schalungs- und Gerüstkosten resultieren.
- ◆ Eine Bauzeitverkürzung durch die Vorproduktion ist unabhängig vom Baufortschritt gegeben. Beispiel: Eine Produktion während der Wintersaison ist durchgehend im Werk möglich, während der Baubetrieb auf der Baustelle im Winter wegen der Witterung unter Umständen vorübergehend eingestellt werden muss. Somit kann eine witterungsunabhängige Produktion in der geschützten Fertigungshalle erfolgen. Die Montage der Fertigteilelemente kann aber bei Bedarf über den Winter erfolgen.
- ◆ Eine merklich bessere Qualität der Betonfertigteile wird durch „Werkstattbedingungen“ erreicht. Dies folgt einerseits aus den für den Fertigteilbau eigens angefertigten Typenschalungen, i.d.R. sind dies glatte Stahlschalungen oder glatte Mehrschichtplatten, und andererseits aus dem erfahrenen, eingespielten Fachpersonal. Die Betongüte des eingebauten Betons ist i.d.R. besser als die auf der Baustelle. Bei der Vorproduktion gibt es nahezu keine „Betonester“, die Oberflächen sind porenarm, glatt, spachtel- bzw. malerfähig. Aufwendige Nacharbeiten auf der Baustelle können daher nahezu unberücksichtigt bleiben.

<sup>3</sup> Vgl. Moro: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 2 Konzeption, 2009, S. 524.

<sup>4</sup> Vgl. Riccabona: Baukonstruktionslehre Band 5, 2003, S.132.

<sup>5</sup> Vgl. Bachmann: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2010, S. 5, 6.

- ◆ Strukturierte und farblich dargestellte Oberflächen lassen sich nur in der Werksfertigung realisieren, welche für die architektonische Gestaltung (Fassaden) relevant sein können.
- ◆ Der Fertigungsbetrieb ist größtenteils mechanisiert und automatisiert, dies führt zu einer effizienteren Produktion der Fertigteile. Typenschalungen können wiederverwendet werden, was zu einer Kostenersparnis bei der Produktion führt.
- ◆ Produktpalette der Fertigteile ist vielfältig. Der gleichzeitige Einsatz mehrerer Fertigkeitypen (ganze Systeme wie z.B. Köcher, Stütze, Binder,...) von ein und denselben Hersteller soll in Betracht gezogen werden, da die Schnittstellenproblematik (v.a. bei der Planung) für den Besteller auf ein Minimum herabgesetzt wird. Sonderlösungen sind auf Anfrage des Herstellers möglich und verglichen mit anderen Verfahrensvarianten eventuell die einzige wirtschaftliche Möglichkeit (Beispiel: das neue Rapid-Stadion).
- ◆ Es besteht bei Fertigteilbauten eine einfachere Demontage der einzelnen Fertigteilelemente.<sup>6</sup>
- ◆ Aussparungen für Fenstern, Türen, Schächten etc. und diverse Einbauteile (Elektro-Dosen, Gehäuse für Spots, Lautsprecher,...) können vorab bereits im Fertigteilwerk berücksichtigt werden, dadurch entfällt dieser Herstellungsaufwand auf der Baustelle.

Soeben wurden Vorteile der Vorfertigung beschrieben. Die nun angeführten Punkte sind als Nachteile der Vorfertigung zu sehen.

- ◆ Sollte das gesamte Projekt aus Fertigteilen zusammengesetzt werden, so ist eine detailliertere Planung zwischen den zu verwendenden Fertigteilen unumgänglich. Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtstabilität bzw. Gebäudeaussteifung.<sup>7</sup> Sonderkonstruktionen können notwendig werden, die teilweise aufwendig und sorgfältig zu planen sind.
- ◆ Die Anzahl der am gesamten Bauvorhaben beteiligten Gewerke erhöht sich. Eine Schnittstelle kommt hinzu („Schnittstellenproblematik“). Zusätzlicher Koordinationsaufwand (z.B. Bekanntgabe des Liefertermins) und laufendes Mitwirken (z.B. Bereitstellen der aktuellen Planungsgrundlagen) des Bestellers ist notwendig für den Einsatz von Betonfertigteilen. Der Aufwand wird logischerweise umso mehr, je mehr verschiedene Fertigkeitypen von verschiedenen Fertigteilherstellern bezogen werden.

---

<sup>6</sup> Vgl. Moro: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 2 Konzeption, 2009, S. 525.

<sup>7</sup> Vgl. Bergmeister: Betonkalender 2009 – II Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2009, S. 179.

- ◆ Eine gewisse Vorlaufzeit ist notwendig. Sie kann je nach Auslastung des Fertigungsbetriebes mehrere Wochen, sogar mehrere Monate betragen. Die Vorlaufzeit setzt sich aus der werkseitigen Planung und Produktion zusammen. Die werkseitige Planung kann aber nur dann erfolgen, wenn aktuelle freigegebene Plangrundlagen (z.B. Polier-, Detail-, Wand-, Decken-, Schalungs-, Bewehrungs-, Elektro-, Installationspläne etc.) zur Verfügung stehen. Das heißt, dass diese Projektbeteiligte schon im Vorfeld schneller agieren müssen.
- ◆ Eine gewisse mangelnde Flexibilität der Fertigteilbauweise ist festzustellen. Es können zum Beispiel bei kleinen Kurvenradien aufgrund Herstellungsgrenzen keine runden/gebogenen Wände und Decken hergestellt werden. Sie werden, sofern herstellbar, i.d.R. mehrfach polygonal ausgebildet, wodurch eine höhere Anzahl an Elementen, insbesondere bei Fertigteilwänden, resultiert.
- ◆ Transport- und Montagezustände begrenzen die Abmessungen und Gewichte der Fertigteile. Daraus resultiert eine höhere Stückzahl der Elemente, welche die Anzahl der Transportfahrten erhöhen können. Bei großen Fertigteilen müssen unter Umständen Sondertransporte vorgesehen werden.
- ◆ Die Fertigteilbauweise ist durch Fugen gekennzeichnet. Diese Fugen sind Schwachstellen besonders, wenn dichte Konstruktionen gefordert sind. Deren Dichtheit muss mit geeigneten Maßnahmen sichergestellt werden.

## 2.2 Planung

Bei einer rechtzeitigen und gut durchdachten Planung werden Kosten, Termine und Qualität als Ziele eher erreicht als bei Projekten, bei denen die Planung unvollständig bzw. zu spät erfolgt. Die Planung ist somit Voraussetzung für den Projekterfolg. Es folgen Optimierungsüberlegungen hinsichtlich des Bauablaufs nach Festlegung des Bauverfahrens. Wird das Projekt als Fertigteile abgewickelt, so erfolgt einerseits die Fertigungsplanung durch den Fertigteilhersteller, andererseits muss der Bauleiter sich Gedanken über den Ablauf der Montage (Montageplanung) machen.<sup>8</sup>

### 2.2.1 Fertigungsplanung

Sollte das gesamte Bauwerk oder nur Teile davon in Fertigteilbauweise realisiert werden, dann ist im Vorfeld eine enge Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten, wie etwa Architekt, Statiker, Elektriker, Installateur etc. und parallel dazu mit dem Fertigteilwerk notwendig, um zu prüfen, ob das Geplante produzierbar ist. Bauangaben, wie z.B. Lage, Anzahl und Größe von Bauteilen, Aussparungen, Einbauteilen, Oberflächenbeschaffenheit etc. sind von den Projektbeteiligten rechtzeitig dem Fertigteilwerk zur Verfügung zu stellen, damit diese in die Werksplanung des Fertigteilherstellers einfließen können. Zeitgleich findet die Planung der Arbeitsvorbereitung statt. Es ist zu prüfen, inwieweit Fertigteile eingesetzt werden können. Wichtig ist dabei, die Vorlaufzeiten für Planung, Bestellung und Lieferung des

---

<sup>8</sup> Vgl. Hofstadler: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, 2007, S. V.

Fertigteilherstellers zu kennen. Hebezeuge müssen auf das Gewicht der Fertigteile abgestimmt sein. Der Transportweg muss geeignet und hindernisfrei sein. Die Reihenfolge der Montage, ob vertikal oder horizontal, muss festgelegt werden.<sup>9</sup>

Um den Entwurf von Fertigteilbauten wirtschaftlich zu gestalten, ist es notwendig, dass die Randbedingungen, wie etwa die Herstellung (Toleranzen), den Transport, die Montage, bauphysikalische Aspekte, die Gesamtaussteifung berücksichtigt werden und in die Planung einfließen.<sup>10</sup>

### **Ablauf von der Planung bis zum Einbau der Fertigteile**

Für nahezu alle werksgefertigten Betonfertigteile kann der Zyklus nach Abb. 2.1 herangezogen werden. Einige Elemente in diesem Zyklus, wie etwa die Planung, Produktion, Lagerung und Montage, werden im Abschnitt 2.6 (Elementdecke) und Abschnitt 2.7 (Hohlwand) näher erläutert. Bei der externen Planung (Abb. 2.1 - Spalte 1) handelt es sich um jene Aspekte, die den Auftraggeber betreffen, welche eingangs im Abschnitt 2.2.1 behandelt wurden. Das Ergebnis der internen Planung (Abb. 2.1 - Spalte 2) ist eine Werkszeichnung (Abb. 4.1 auf Seite 61), die vom Fertigteilhersteller auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Ausführungsgrundlagen intern erstellt wird. Dabei wird das auszuführende Projekt in Einzelteile, sprich Fertigteile, zerlegt und an die Werksproduktion angepasst. Produziert werden die Fertigteile erst nach Durchsicht und schriftlicher Freigabe des Bestellers.

---

<sup>9</sup> Vgl. Zilch: Handbuch für Bauingenieure - Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, 2012, S.942.

<sup>10</sup> Vgl. Bachmann: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2010, S.15-28.

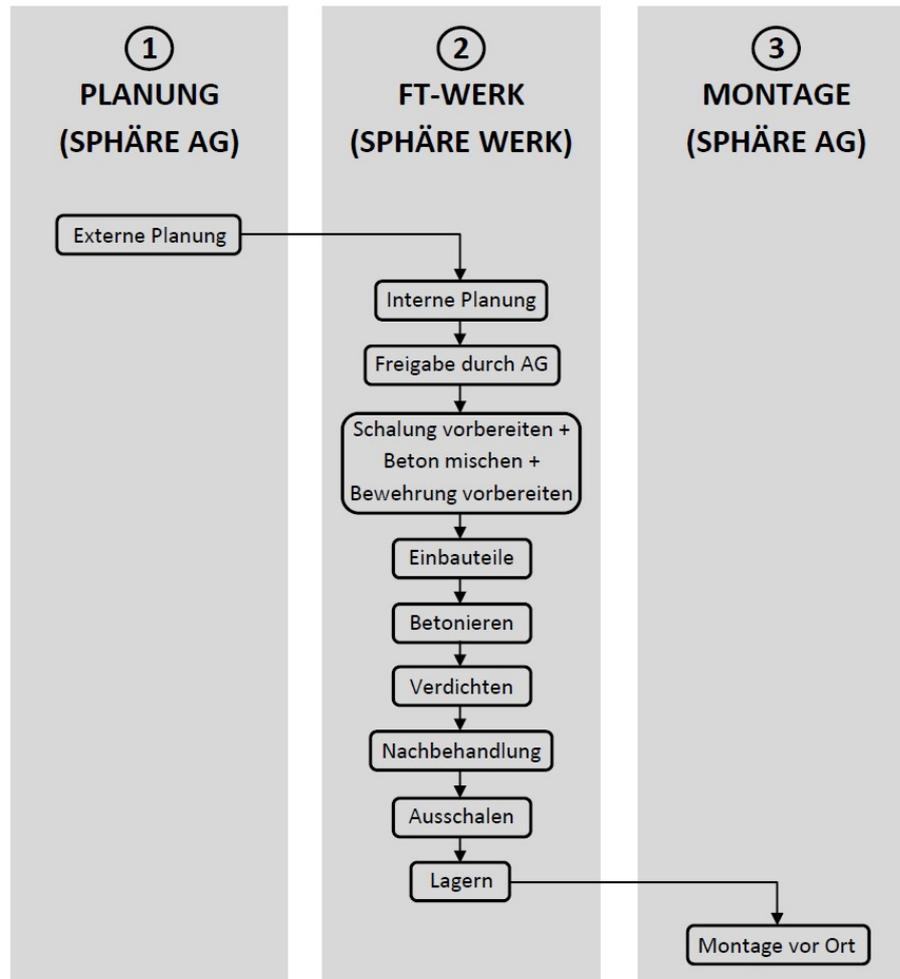


Abb. 2.1: Ablauf Planung bis Einbau<sup>11</sup>

## 2.2.2 Montageplanung

Beim Einsatz von Fertigteilen muss der Montageablauf sorgfältig geplant werden. Es sind Maßnahmen zu ergreifen, welche einen reibungslosen und damit wirtschaftlichen Montageablauf gewährleisten. Für den Montageablauf sollten folgende Randbedingungen unter Beachtung der Fertigteilgewichte berücksichtigt werden:

- ◆ Zufahrt, Befahrbarkeit und Belastbarkeit des Baugeländes durch Hebezeuge und Transportfahrzeuge,
- ◆ Lagerflächen von Fertigteilen, Baustelleneinrichtung,
- ◆ Baustellensituation,
- ◆ Verkehrssituation (Aufrechterhaltung des Verkehrs, oder temporäre Sperre),
- ◆ Montageabschnitte,
- ◆ Startpunkt der Montage,
- ◆ Verlegerichtung (horizontal, vertikal),
- ◆ Zwangspunkte wie z.B. Gebäudedehnfugen,

<sup>11</sup> Adaptiert nach Riccabona: Baukonstruktionslehre Band 5, 2003, S.132.

- ◆ Aufstellplätze für mobile Hebezeuge (z.B. Autokran)<sup>12</sup>.

### 2.3 Montage

Für die Ausführung der Montage sind Vorschriften und technische Maßnahmen zu beachten. Vor Montagebeginn ist eine Montageanleitung zu erstellen. Der Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB) hat für verschiedene Fertigteilgruppen (Elementdecke, Hohlwand, Treppen, stabförmige Bauteile etc.) teils in Zusammenarbeit mit der Unfallversicherungsanstalt (AUVA) eigene Montagerichtlinien erarbeitet. Es handelt sich dabei um unverbindliche Empfehlungen unter Einhaltung der gültigen Sicherheitsvorschriften. Bauabläufe von Fertigteilen sind im Abschnitt 4.4.1 in Anlehnung der Montagerichtlinien des VÖB dargestellt.

### 2.4 Beton

Beton gilt seit der Antike als ein unverzichtbarer Baustoff. Der heutige Beton setzt sich hauptsächlich aus Zement, Gesteinskörnungen und Wasser zusammen. Optional werden dieser Mischung Betonzusatzstoffe und Betonzusatzmittel beigegeben, um gewisse Eigenschaften und die Verarbeitbarkeit zu beeinflussen. Wasser und Zement bilden den Zementleim, welcher die Gesteinskörnungen umhüllt. Sobald der Zement mit Wasser in Berührung kommt, löst dies unmittelbar eine chemische Reaktion aus. Der sog. Hydratationsprozess, d.h. die Festigkeitsentwicklung beginnt. Der Zementleim erhärtet zum Zementstein. Im Anfangsstadium ist der Beton noch verarbeitbar und formbar, diese Eigenschaft geht jedoch, wenn kein Verzögerer (Betonzusatzmittel) verwendet wird, schnell verloren. Der Zementstein ist die Schwachstelle im Beton, da dieser mehr oder weniger porös ist und mit Mikrorissen durchzogen ist. Die Dichtheit und Dauerhaftigkeit werden dadurch maßgebend beeinflusst. Porosität wird in erster Linie durch das Gewichtsverhältnis von Wasser zu Zement verursacht. Weitere Faktoren, wie etwa die Betonzusammensetzung, Bauteilabmessungen, Festigkeitsentwicklung des Zements, Art und Dauer der Nachbehandlung und Umgebungstemperaturen beeinflussen die Festigkeitseigenschaften des Betons maßgebend. Die Konformität der Betoneigenschaften und die Betontechnologie sind in den einschlägigen Normen geregelt.<sup>13</sup> Für die Betontechnologie, bei der in letzter Zeit wesentlichen Entwicklungen stattfanden, existiert einschlägige Literatur, weshalb in dieser Arbeit nicht näher drauf eingegangen wird.

### 2.5 Baustelleneinrichtung

*„Unter dem Begriff der Baustelleneinrichtung wird die Gesamtheit der im Bereich einer Baustelle erforderlichen Produktions-, Lager-, Transport- und Arbeitsstätten verstanden, die für die Errichtung, den Umbau oder die Sanierung einer baulichen Anlage erforderlich sind.“<sup>14</sup>*

---

<sup>12</sup> Vgl. Zilch: Handbuch für Bauingenieure - Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, 2012, S. 951.

<sup>13</sup> Vgl. Bergmeister: Betonkalender 2009 – I Beton, 2009, S. 3, 4.

<sup>14</sup> Schach R., Otto J.: Baustelleneinrichtung, 2011, S.1

Die Planung und Organisation der Baustelleneinrichtung stellt die Grundlage für die wirtschaftliche Bauausführung und den Erfolg der Baustelle dar. Eine Reihe von Faktoren, wie z.B. räumliche, logistische, fertigungstechnische und humansoziale Faktoren beeinflussen die Wirtschaftlichkeit der Baustelle.<sup>15</sup> Im Nachfolgenden wird nun der Turmdrehkran als Element der Baustelleneinrichtung herausgegriffen und erläutert.

### Turmdrehkran

Krane sind für das horizontale und vertikale Bewegen von Lasten notwendig, sie arbeiten diskontinuierlich. Die für den Kranauswahl maßgeblichen Kriterien sind die Traglast und das Lastmoment  $[tm]$  ( $=\text{Traglast [t]} \cdot \text{Ausladung [m]}$ ). Turmdrehkrane bestehen aus Unterbau, Turm und dem Ausleger. Turm und Ausleger werden meist als Fachwerkkonstruktion aus Stahl ausgeführt. Wegen der Standsicherheit muss eine Gegenlast zur angehängten Last angeordnet werden. Turmdrehkrane werden unter anderem nach der Form des Auslegers unterschieden. Hierbei kommen Nadelausleger, Knickausleger, Laufkatzausleger und Sonderformen wie teleskopierbare Ausleger zum Einsatz (Abb. 2.2).

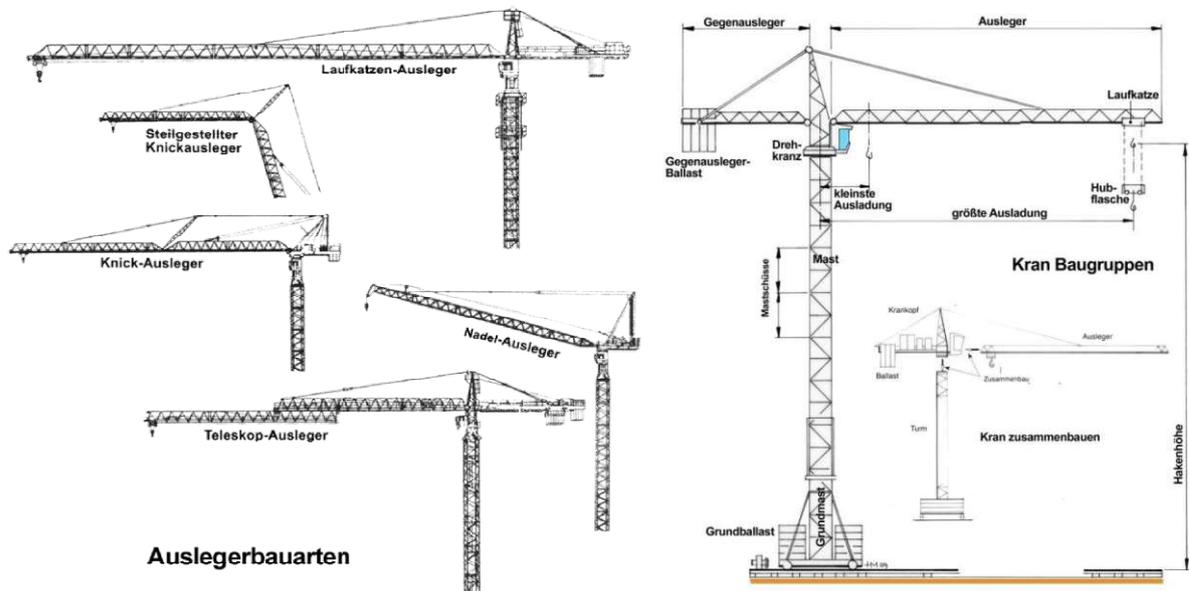


Abb. 2.2: Auslegertypen von Turmdrehkrane und Bezeichnungen eines Kranes<sup>16</sup>

Der Nadelausleger ist unterhalb der Turmspitze in einem Drehpunkt gelagert und wird über die Seilführung an der Spitze des Auslegers vertikal auf- und abgesenkt. Lasten werden nur durch An- und Abheben des Auslegers transportiert, es gibt keine Laufkatze. Eingesetzt wird er bei besonders engen Platzverhältnissen und bei hohen Gebäuden. Als nachteilig wirkt sich der große Totraum um den Kranturm herum aus. Beim Laufkatzausleger (Abb. 2.2 - rechts) können die Lasten mit einer sog. Laufkatze entlang des Auslegers bewegt werden, welche das Hubseil mit sich führt. Es können somit Lasten vom Kranturm bis vorne zur Auslegerspitze transportiert werden. Er wird im gesamten Hoch- und Tiefbau eingesetzt.

<sup>15</sup> Vgl. Jodl: Einrichtung und Betrieb von Baustellen, Studienblätter - Vorlesung SS 2012, S.94.

<sup>16</sup> Fa. Lehrerfreund: Turmkrane, adaptiert - <http://www.lehrerfreund.de/technik/1s/turmkrane/3560>, Zugriff am 22.09.2020.

Eine weitere Variante stellt der Knickausleger dar, welcher eine Kombination aus dem Nadel- und Katzausleger ist. Der am Kranturm angebrachte Teil kann in der Höhe verstellt werden. Der anschließende vordere Teil ist horizontal und beinhaltet die Laufkatze. Vorteilhaft eingesetzt wird dieser Kran bei hohen Gebäuden und Türmen bei gleichzeitig beengten Platzverhältnissen. Der hohe Preis und die geringe Tragfähigkeit im vorderen Auslegerbereich können als Nachteile genannt werden.

Ferner werden Turmdrehkrane nach der Anordnung des Drehkranzes unterschieden. Hierbei gibt es Untendreher, bei denen sich der Drehkranz im unteren Teil des Kranes befindet und somit Kranturm samt Ausleger sich gemeinsam mitdrehen. Untendreher werden v.a. bei kleinen bis mittleren Lastmomenten eingesetzt, benötigen eine größere Stellfläche. Vorteilhaft ist die schnelle Montage und Demontage (Schnelleinsatzkrane). Bei den Obendrehern befindet sich der Drehkranz im oberen Teil des Kranes, der Kranturm ist unbeweglich, nur der Ausleger und der Gegenausleger drehen sich. Obendreher können größere Lastmomente aufnehmen, sie müssen aber mit Hilfe von Fahrzeugkranen montiert und demontiert werden, was sich nachteilig auf die Kosten auswirkt, nehmen jedoch wenig Stellfläche in Anspruch.

Bei der Ausführung des Unterbaus kann zwischen einem stationären Kran, einem Kran auf Gleisfahrwerk, Reifen-, Raupenfahrwerk und nach einem Fahrzeugkran (Mobilkran) unterschieden werden. Beim Ersteren wird der Kran auf einem Fundamentkreuz auf mehreren Einzelfundamenten gestellt, fest mit der Betonplatte einbetoniert oder in einem Gebäudeschacht eingespannt. Der schienengebundene Kran hat den Vorteil, dass der Arbeitsbereich ständig vergrößert werden kann. Der Kran mit Raupenfahrwerk bietet eine höhere Flexibilität auf der Baustelle.<sup>17</sup>

### **Turmdrehkran – bauverfahrenstechnische Kriterien**

Der Kran ist ein teures Schlüsselgerät auf fast allen Baustellen, daher kommt in wirtschaftlicher Sicht eine besondere Bedeutung hinzu. Es gibt verschiedene Bemessungsansätze für die Bestimmung der Anzahl an Kranen auf einer Baustelle, die Vor- und Nachteile haben. Im Abschnitt 4.4 werden speziell Bemessungskonzepte für die Krandimensionierung bei Einsatz von Fertigteilen dargestellt. Im Abschnitt 5.1.4 wird die Bemessung mit Kranaufwandswerten erläutert.

#### ◆ Krananzahl über die Spielzeiten

Zuerst muss das maßgebende Kranspiel lt. Abb. 2.3 angenommen werden. In dieser ist ersichtlich, dass sich das Kranspiel aus verschiedenen Teilvorgängen (Last anschlagen, Heben, Schwenken etc.) zusammensetzt. Zeitangaben für diese Teilvorgänge können der Tab. 1 entnommen werden. Aus der Summierung der Teilvorgänge errechnet sich die Grundspielzeit je Stunde. Mit dem Behinderungsfaktor und dem Geräteausnutzungsfaktors errechnet sich die Dauerleistung des Krans. Aus der Dauerleistung wird die Anzahl der benötigten Krane erhalten.

Es gilt also:

$$QD = \frac{3600}{t_0} \cdot \eta \cdot M$$

<sup>17</sup> Vgl. Jodl: Bauverfahrenstechnik, Studienblätter - Vorlesung 2009, Kapitel 6, S.11-15.

mit:  $Q_D$ .....Dauerleistung des Kranes [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{t}/\text{h}$ ,  $\text{Stk}/\text{h}$ ]  
 $t_0$ .....Grundspielzeit [s]  
 $\eta$ .....Abminderungsfaktor [-]  
 $M$ .....geförderte Menge [ $\text{fm}^3$ ,  $\text{m}^3$ ,  $\text{t}$ ,  $\text{Stk}$ ]

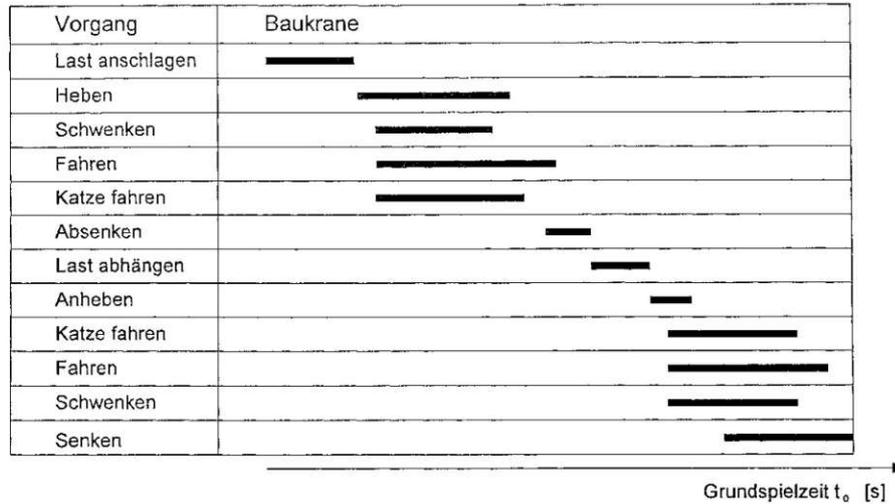


Abb. 2.3: Ermittlung der Grundspielzeit von Kranen<sup>18</sup>

Zeit	Bewegung	Wert	Einheit
$t_H$	Hub- bzw. Senkzeit des Hakens (Mittelwert)	1-20	s/m
$t_S$	Schwenkzeit des Krans	0,1-0,2	s/ $\alpha^\circ$
$t_K$	Fahrzeit der Laufkatze	1-3	s/m
$t_A$	Zeit für das Anschlagen der Last, Füllen des Kübels	30-180	s
$t_E$	Zeit für das Abhängen der Last, Entleeren des Kübels	30-300	s

Tab. 1: Zeitbedarf für Kranbewegungen (Anhaltswerte)<sup>19</sup>

Es ist anzumerken, dass dieses Verfahren sehr stark von den getroffenen Annahmen abhängt und daher sehr unsicher ist. Fehler, wie z.B. die Festlegung des Abminderungsfaktors (0,50 - 0,83) und dass die Kranspielzeiten bei längeren Fahrstrecken exponentiell zunehmen und damit das berechnete Kranspiel nicht mehr das tatsächlich maßgebende ist, führen zur Unsicherheit in dieser Causa.

◆ Krananzahl mit Hilfe von Warteschlangenmodellen

Unabhängige Transportvorgänge können mit Hilfe der Methoden des „Operation Research“ durch ein Warteschlangenmodell dargestellt werden. Diese komplizierten mathematischen Modelle müssen trotz EDV-Unterstützung mit vielen Annahmen gestützt werden. Dieser Methode ist aufwendig, täuscht Genauigkeit vor und somit relativ unbefriedigend.

<sup>18</sup> Vgl. Girmscheid G.: Prozess der Erhaltung baulicher Infrastrukturen, Skript - Teil 2, Seite 49.

<sup>19</sup> Vgl. Girmscheid G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse 2010, S.233.

## 2.6 Elementdecke

In diesem Abschnitt wird die Elementdecke definiert, deren Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsgrenzen beschrieben und abschließend auf die Produktion eingegangen.

### 2.6.1 Systembeschreibung

Bei der (schlaff bewehrten) Elementdecke, auch als Großflächenplatte, im deutschsprachigen Raum als Filigrandecke bezeichnet, handelt es sich um eine industriell vorgefertigte Stahlbeton-Platte, welche eine Mindestdicke von 5 – 7 cm aufweist (Abb. 2.4). Die für die Tragfähigkeit erforderliche Bewehrung (Hauptzugbewehrung) wird in den meisten Fällen gänzlich in die Platte bereits werkseitig eingebaut. Zum Abheben und Versetzen der Elemente dienen Gitterträger, welche mit der Bewehrung fest mitbetoniert werden und für die nötige Steifigkeit der Platten während des Montagezustandes dienen.<sup>20</sup> Die Elementdecke zählt zur Kategorie der Teilmontagedecke (Halbfertigteildecke), das heißt, dass nach dem Verlegen der Elementplatten, mit der Möglichkeit des Einlegens noch fehlender Bewehrung (z.B. Anschlussbewehrung), der Aufbeton (Ortbeton) direkt vor Ort auf der Baustelle auf die Elemente aufgebracht wird.<sup>21</sup>

Die Elemente werden nacheinander flächig verlegt. 100 m<sup>2</sup> Deckenfläche können in einer Stunde verlegt werden<sup>22</sup>, damit werden mit Elementdecken hohe Verlegeleistungen erzielt. Die Elemente werden stirnseitig, i.d.R. mit mindestens 5 cm Auflagertiefe, auf das Mauerwerk aufgelegt. Bei geringerer Auflagertiefe müssen die Elemente stirnseitig am Rand (Randunterstellung) unterstützt werden (Abb. 2.6 rechts). Die Elemente müssen ebenfalls quer zur Längsrichtung der Gitterträger unterstützt werden. Als Faustformel für Unterstellweiten kann ein Abstand von 1,5 m angenommen werden. Dieser ist aber in erster Linie von der Deckenstärke (Flächenbelastung aus Frischbeton) und von der geforderten Montagenutzlast abhängig und von den gewählten Gitterträgern.<sup>23</sup>

---

<sup>20</sup> Fa. Oberndorfer: Elementdecke <http://www.oberndorfer.at/produkte/deckensysteme/ed-elementdecke/>, Zugriff am 30.09.2020.

<sup>21</sup> Vgl. Pech: Baukonstruktionen Band 5 – Decken, 2006, S. 45.

<sup>22</sup> Laut Auskünften einiger Baufirmen nach Verlegung der Elementdeckenplatten (vorwiegend im Einfamilienhausbau) ohne Hindernisse auf Anfrage des Autors.

<sup>23</sup> Vgl. Pech: Baukonstruktionen Band 5 – Decken, 2006, S. 45, 46.

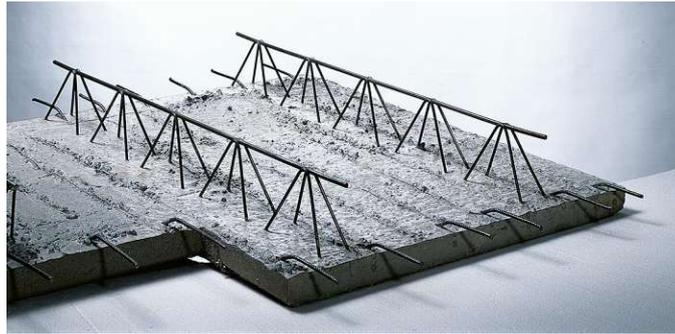


Abb. 2.4: Lieferzustand Elementdecke<sup>24</sup>

Als Bewehrung wird standardmäßig Betonstahlgüte BST 550 eingebaut. Die statisch geforderte Querbewehrung kann entweder vollständig im Element oder im Aufbeton vorgesehen werden. Im ersten Fall wird dann eine Fugenstoßbewehrung notwendig, um die Lasten über die Fuge abzuleiten (Abb. 2.6 - links). Plattenbreiten betragen je nach Hersteller wegen Transportgründen 2,4 m oder 2,6 m (Abb. 2.5). Unter Umständen lassen sich aber Plattenbreiten bis 3 m realisieren. Das Plattengewicht inkl. Bewehrung beträgt ca. 125 kg/m<sup>2</sup> bei 5cm Plattendicke. Weil die Deckenelemente auf glatten Stahlschalungen, sog. Paletten, produziert werden, ist deren Untersicht eben, porenarm und somit streich-, tapezier-, spachtelfähig. Ein vollflächiges Verputzen entfällt somit. Die sichtbaren Kanten sind gefast. Die Oberflächenbeschaffenheit der Plattenelemente ist üblicherweise „rau“. Diese besondere Eigenschaft ist grundlegend für eine schubfeste Verbindung der Elementdecke zum Aufbeton. Die übertragbare Schubkraft ist von der Rauigkeit der Oberfläche abhängig. Deshalb müssen eventuell vorhandene Verunreinigungen auf der Oberfläche vor Aufbringen des Aufbetons unbedingt beseitigt werden. Es empfiehlt sich ebenfalls die Oberfläche vor dem Betonieren vorzunässen.<sup>25</sup> Abb. 2.6 - rechts zeigt mögliche Auflagersituationen der Elementdecke. Diese kann entweder direkt am endgültigen Auflager oder auf Unterstellungen situiert werden.

### Einsatzmöglichkeiten & Anwendungsgrenzen

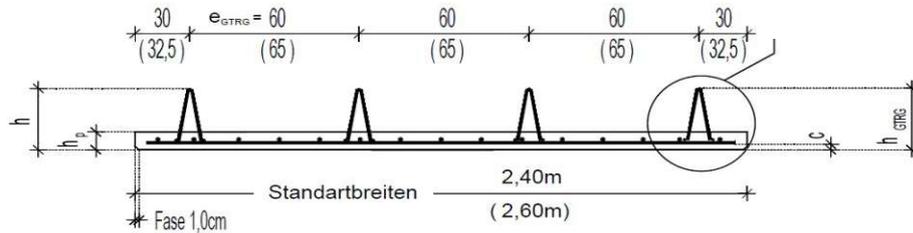
Die Einsatzmöglichkeiten der Elementdecke reichen vom Einfamilienhaus über den Bürobau bis hin zum Industriebau. Im Verkehrswegebau, bei der die Elemente als Brückentragwerke eingesetzt werden, finden sie Anwendung. Im allgemeinen Hochbau kommen sie meist als Decken- und Dachtragwerke infrage. Aufgrund der Flexibilität dieses Deckensystems sind nahezu alle Grundrissformen möglich. Nur Rundungen können nicht ausgeführt werden. Sie werden mehrfach polygonal angenähert. Die Deckenelemente werden meist einachsig gespannt, als Einfeld- oder Durchlaufträgersystem eingesetzt. Kreuzweise gespannte Decken sind problemlos möglich. Die erste Lage wird bereits vollständig im Werk eingebaut, die zweite Lage der Bewehrung wird bauseits quer auf die Elemente gelegt. Die Plattenlängen können bis zu 10 m betragen. Durch den Einbau von Durchstanzelementen (Abb. 2.22) sind dadurch Flachdecken (punktförmig gelagerte Decken) möglich. Die

<sup>24</sup> Fa. H+L Baustoff: Elementdecke - <https://www.hl-baustoff.com/produkte/deckensysteme/>, Zugriff am 22.09.2020.

<sup>25</sup> Vgl. Pech: Baukonstruktionen Band 5 – Decken, 2006, S. 45, 46.

Bauphysikalischen Eigenschaften und der Brandschutz der Elementdecke ist ident wie bei reinen Ortbetonkonstruktionen. Die Bemessung wird nach den Regeln einer Ortbetondecke vorgenommen.<sup>26</sup>

**Querschnitt:**



**Längsschnitt:**

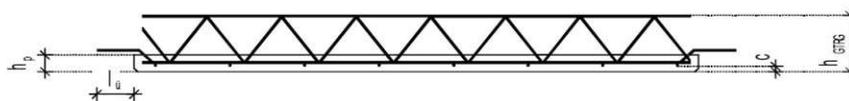


Abb. 2.5: Elementdecke im Längs- und Querschnitt<sup>27</sup>

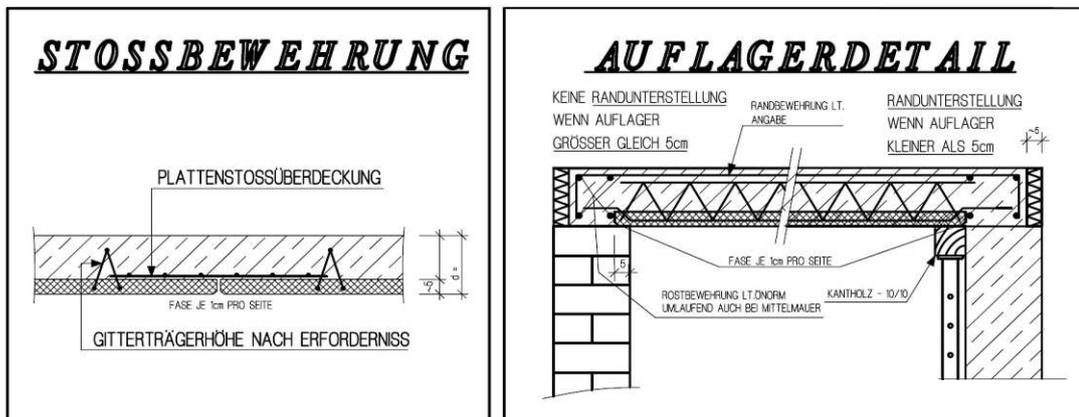


Abb. 2.6: Stoßbewehrung bei Plattenstößen und Auflagersituation bei Elementdecke<sup>28</sup>

<sup>26</sup> Fa. Oberndorfer: Architektenordner 2012, S.107.

<sup>27</sup> Fa. Oberndorfer: Architektenordner 2012, S.114.

<sup>28</sup> Fa. Oberndorfer: Detailausschnitt aus Plankopf Elementdecke.

### Gitterträger

Der Gitterträger ist ein räumlicher Dreigurtbinder aus Stahl, bestehend aus einem glatten Obergurtstab, zwei glatten Diagonalstabreihen und den zwei gerippten Untergurtstäben, wie in Abb. 2.7 ersichtlich.

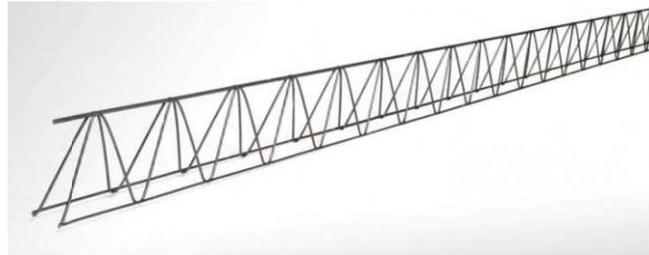


Abb. 2.7: Gitterträger<sup>29</sup>

Niedrigere Gitterträger haben eine höhere Steifigkeit als höhere Gitterträger bei gleichzeitigen Untergurt-, Diagonal- und Obergurtstabdurchmessern. Die Gitterträger haben untereinander einen Standard Achsabstand von 60 cm, wenn die Plattenbreite 2,40 m beträgt. Vom seitlichen Plattenrand beträgt der Achsabstand 30 cm (Abb. 2.5). Der Gitterträger dient der notwendigen Steifigkeit der Platten während des Abhebens von der Produktionsbahn und für nachfolgende Hebe- und Versetzarbeiten (Montagezustand). Darüber hinaus sichert der Gitterträger den Verbund zum Aufbeton, dieser kann der Querkraftbewehrung (Schubbewehrung) und deren zwei Untergurte können der Biegezugbewehrung angerechnet werden. Aufgrund der Gitterträgerhöhe sind i.d.R. keine Abstandhalter mehr für die obere Bewehrung notwendig. Gitterträger werden auch bei Hohlwänden eingesetzt. Sie verbinden die innere und äußere Schale miteinander, sorgen ebenfalls für die Montagesteifigkeit und den Verbund mit dem Kernbeton.<sup>30</sup>

### 2.6.2 Produktion

Die Produktion der Elementdecke erfolgt heutzutage vollautomatisch, also mit Hilfe der Robotersteuerung. Grundlage dafür ist ganzheitlicher Computereinsatz von der Auftragsabwicklung bis hin zur Abrechnung. Die für die Produktion erforderlichen Daten werden bereits im Vorfeld durch computerunterstützte Methoden bei der Werksplanung (CAD-Computer Aided Design-Zeichnungen) zusammengestellt. Diese Daten sind notwendig für das automatische Bewehren und Betonieren, das Aufstapeln der Elemente sowie für die Erstellung von Lieferscheinen und Abrechnungen. Die Daten bilden die Grundlage für die Robotersteuerung, somit ist eine computerunterstützte Produktion (CAM - Computer Aided Manufacturing) gegeben.<sup>31</sup> Neben der Bahnenfertigung (stationäre Produktion auf langen Bahnen), die im Rahmen dieser Arbeit nicht näher behandelt wird, existiert die Palettenumlaufanlage. Bei dieser erfolgt die Herstellung der Fertigteillemente

<sup>29</sup> Fa. Avi: Gitterträger - <http://www.avi.at/produkte/gittertraeger/>, Zugriff am 22.09.2020.

<sup>30</sup> Architektenorder Fa. Oberndorfer S.112.

<sup>31</sup> Vgl. Fa. Syspropart: Die Technik zur Wand - Wie wird's gemacht? 1997, S.7.

(FT-Element)<sup>32</sup> auf Stahltischen, sog. Paletten. Mithilfe eines rollen- oder schienengebunden Beförderungssystems passieren die Paletten nacheinander die einzelnen Fertigungsstationen und sind am Ende eines Zyklus wieder am Ausgangspunkt, so wie es Abb. 2.8 verdeutlicht. Diese Abbildung zeigt die einzelnen Fertigungsschritte der Produktion in solch einer Umlaufanlage. Dieser Zyklus enthält die wichtigsten Fertigungsschritte, ist jedoch nicht vollständig. Die Fertigungsschritte der Produktion werden nun näher behandelt, da diese auch für die Fertigung von Hohlwänden von Bedeutung sind.

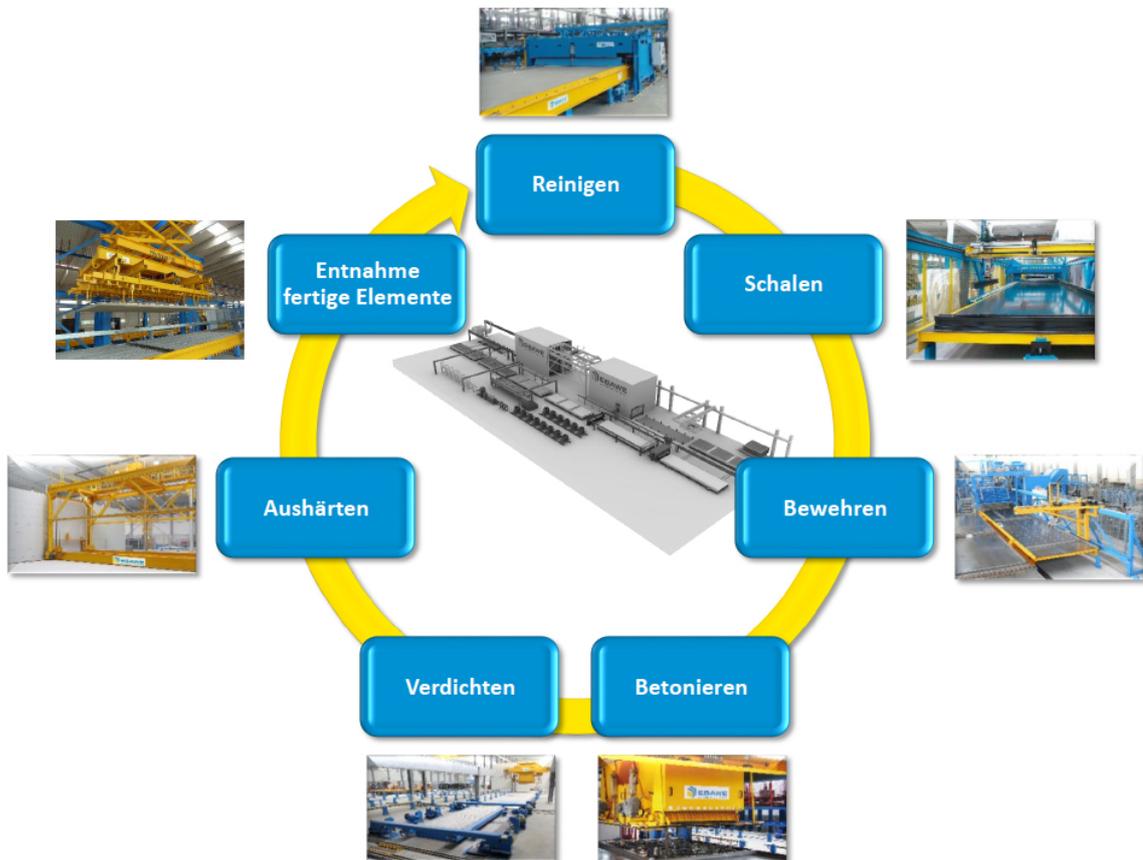


Abb. 2.8: Zyklus einer Elementdeckenproduktion<sup>33</sup>

### Bewegung der Platten

Um die Paletten im Inneren des Fertigungsbetriebs bewegen zu können, ist ein speziell dafür vorgesehenes Beförderungssystem, wie in Abb. 2.9 und Abb. 2.10 dargestellt, notwendig. Die Palette wird in Längsrichtung mit dem Reibrad bewegt und der Rollenbock ist für die Lagesicherheit maßgebend. Für Querverschiebungen innerhalb des Fertigungswerks werden Querhubwagen eingesetzt, welche sich unter die Palette schieben, diese hydraulisch anheben und zur nächsten Einheit bewegen.

<sup>32</sup> FT-Element = Fertigteilelement, damit ist in dieser Arbeit Elementdecke- oder Hohlwandplatte gemeint.

<sup>33</sup> Fa. Ebawe Anlagentechnik: <https://www.ebawe.de/de/anlage-fur-elementdecken>, Zugriff am 29.06.2016.

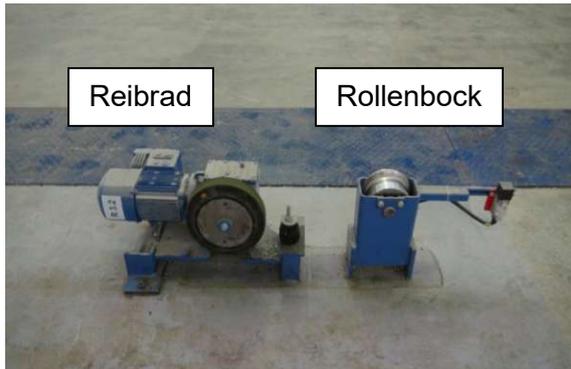


Abb. 2.9: Reibrad und Rollenbock<sup>34</sup>



Abb. 2.10: Querhubwagen<sup>35</sup>

### Reinigung der Schalung

Ausgangspunkt für die Herstellung von FT-Elemente ist eine ebene und reine Schalhaut, welche die glatte und porenarme Untersicht garantiert. Vom vorherigen Produktionszyklus befinden sich Betonreste, Schmutz, Klebstoffreste etc. und müssen restlos für den nächsten Zyklus beseitigt werden. Die Bandbreite reicht dabei von handelsüblichen Schabern bis hin zur vollautomatischen Reinigung, wie in Abb. 2.11 dargestellt.



Abb. 2.11: Reinigungsgerät für Schalungen<sup>36</sup>

### Einschalen

In Abb. 2.12 erfolgt das Einmessen und Setzen von Schalungsteilen auf Grundlage der freigegebenen Plattengeometriemithilfe eines sog. Schalungsroboters, welcher Zugriff auf ein umfangreiches Schalungsmagazin hat. Das Haften der Schalungen an der Palette wird durch Magnete bewerkstelligt (Magnetverspannsystem<sup>37</sup>). In Abb. 2.13 werden die verbleibenden Schalkanten manuell mittels Styroporkörper realisiert. Die Styroporkörper

<sup>34</sup> Fa. Weckenmann Anlagentechnik: Umlaufanlage - <https://weckenmann.com/de/produkte/anlagen/komponenten-einer-umlaufanlage/umlauftechnik>, Zugriff am 25.09.2020.

<sup>35</sup> Fa. Weckenmann Anlagentechnik: Umlaufanlage - <https://weckenmann.com/de/produkte/anlagen/komponenten-einer-umlaufanlage/umlauftechnik>, Zugriff am 25.09.2020.

<sup>36</sup> Fa. Sommer Anlagentechnik: Umlauftechnik - [http://www.sommer-precast.de/de\\_DE/produkte/umlauftechnik/](http://www.sommer-precast.de/de_DE/produkte/umlauftechnik/), Zugriff am 17.11.2016.

<sup>37</sup> Fa. Sommer Anlagentechnik: Umlauftechnik - [https://www.sommer-precast.de/de\\_DE/produkte/multifunktions-schalungs-roboter/](https://www.sommer-precast.de/de_DE/produkte/multifunktions-schalungs-roboter/), Zugriff am 25.09.2020.

werden mit Heißkleber an der Palette geklebt. Die Plattenkontur wird ständig mit Hilfe der Laserprojektoren dargestellt.



Abb. 2.12: Schalungsroboter im Einsatz



Abb. 2.13: Styroporkörper als Schalung

### Einölen der Schalung

Nachdem die Abstandhalter platziert werden, müssen die gesamten Schalungsteile mit Trennmittel versehen werden, um ein Anhaften des Betons beim Abheben der FT-Elemente an der Schalung zu vermeiden. Das Trennmittel wird automatisch oder manuell auf die Schalung aufgetragen. In Abb. 2.15 wird das Trennmittel manuell aufgesprüht, welches direkt von einem zentralen Schalöltank bezogen wird.



Abb. 2.14: Abstandhalter platzieren



Abb. 2.15: Schalung mit Trennmittel versehen

### Bewehrung einbauen

Ein sehr hoher Automatisierungsgrad in modernen Palettenumlaufanlagen für die Bewehrungsvorbereitung wird von verschiedensten Anlagenherstellern angeboten. Es existieren bereits vollautomatische Anlagen, die nach CAD-Vorgaben Betonstahl richten, schneiden, biegen, Abstandhalter, Längs-Querbewehrung, Einbauteile, Gitterträger verlegen. Diese moderne Robotertechnik erhöht die Produktionskapazität, steigert die Maßgenauigkeit

und trägt zur Fehlerminimierung bei.<sup>38</sup> Die Bewehrung der Elementdecke besteht im Allgemeinen aus Längs- und Quereisen, den Gitterträgern und den Zulagen (Abb. 2.21). Als Flächenbewehrung werden entweder fertige Matten oder eigens angefertigte Matten aus Stabstahl verwendet. Beim zweiten Fall werden Längs- und Quereisen zu einer Matte zusammengeschweißt. Ausgangspunkt für die Mattenherstellung sind sogenannte Bewehrungs-Coils (Abb. 2.16), also aufgewickelter Stabstahl. Coils mit einem Stabstahldurchmesser von 6 - 16 mm können verwendet werden.<sup>39</sup> Der große Vorteil von Coils besteht darin, dass nahezu kein Verschnitt anfällt und sie beanspruchen wenig Lagerfläche. Das Richten und Abschneiden des Bewehrungsstahles geschieht mit Richtanlagen (siehe Abb. 2.17). Das Ergebnis ist ein abgelängter gerader Stabstahl. Mit entsprechenden Richtmaschinen ist ein Biegen des Stabstahls möglich. Der vorliegende lose Stabstahl wird mithilfe einer Mattenschweißanlage (siehe Abb. 2.18) durch Punktschweißung zu einer Bewehrungsmatte zusammengefügt.

Ein weiteres Bewehrungselement stellt der Gitterträger dar. Diese können eigens im Werk mit Gitterträgerschweißmaschinen angefertigt werden oder sie werden in bestimmten Längen und Höhen zugekauft. Eine Gitterträgerverarbeitungsanlage, wie in Abb. 2.19 und Abb. 2.20 dargestellt, schneidet die Gitterträger entsprechend den CAD-Vorgaben, und schweißt den Verschnitt mit den nächsten Gitterträgern so an, dass praktisch kein Verschnitt zustande kommt.

---

<sup>38</sup> Fa. Progress Maschinen & Automation: Bewehrungsautomatisierung - <http://www.progress-m.com/de/produkte/bewehrungsautomatisierung-fur-betonfertigteilwerke>, Zugriff am 25.09.2020.

<sup>39</sup> Fa. Weyland: Bewehrung - <http://www.weylend.at/sortiment/bewehrung/produkte.html>, Zugriff am 18.11.2016.



Abb. 2.16: Coils



Abb. 2.17: Richtanlage<sup>40</sup>



Abb. 2.18: Mattenschweißanlage



Abb. 2.19: Gitterträgerverarbeitung

<sup>40</sup> Fa. Progress Maschinen & Automation: Richtschneidemaschinen - <http://www.progress-m.com/de/produkte/richtschneidemaschinen>, Zugriff am 25.09.2020.



Abb. 2.20: Gitterträgerverarbeitung<sup>41</sup>



Abb. 2.21: Gitterträger, Längs,- Quereisen

### Einbauteile einbauen

Die Heizung – Klima – Lüftung - Sanitär-, kurz HKLS – Installationen, haben in letzter Zeit massiv an Bedeutung gewonnen, wodurch dies immer mehr bei Elementdecken und Hohlwänden Verwendung finden. Einbauteile z.B. Dosen für Elektrik (Abb. 2.23), Gehäuse für Lautsprecher, Saugnischen für Wohnraumbelüftung, Isokörbe, Randabschalungen (Abb. 2.24), Wassernasen für Balkone und eine Fülle an weiteren Installationsteilen können bereits im Werk in der Platte vorgesehen werden. Abb. 2.22 zeigt, dass bereits eine Durchstanzbewehrung werkseitig eingebaut werden kann. Der Einbau der Installationsteile wird vorab durch den Fertigteilproduzenten auf Machbarkeit überprüft. Beim Einbau dieser Teile muss gegebenenfalls die Bewehrung angepasst werden. Eine hohe Dichte der Einbauteile und somit möglicher Ausfall der Bewehrung muss statisch berücksichtigt werden. Die Koordinaten der Einbauteile werden durch CAD - Daten fix vorgegeben. Ein Roboter übernimmt diese Daten und zeichnet die Lage aller Einbauteile genauestens auf die Palette auf. Die Einbauteile werden auf die Palette geklebt bzw. fixiert, dass keine Lageänderungen während des Verdichtungsvorgangs auftreten.

<sup>41</sup> Fa. Progress Maschinen & Automation: Richtschneidemaschinen - <https://www.progress-m.com/de/produkte/gittertraegerverarbeitung>, Zugriff am 25.09.2020.



**Abb. 2.22:**  
**Durchstanzbewehrung<sup>42</sup>**



**Abb. 2.23: Elektrodose<sup>43</sup>**



**Abb. 2.24: Isokorb & Abschaler<sup>44</sup>**

### Betonieren

Nachdem die mit Trennmittel versehene Schalung mit der Bewehrung samt Einbauteile vorbereitet ist, kann diese weiter zur nächsten Station, dem Betonieren, verfahren werden. Der Beton wird in der Mischanlage des Fertigteilwerks mit den gewünschten Eigenschaften hergestellt. Ein Transportsystem innerhalb des Werks ist für den Beton notwendig, welches das Bindeglied zwischen Mischanlage und dem Betonverteiler ist. Ein solches Transportsystem kann beispielsweise als Kübelbahn in Schienenausführung realisiert werden, welches in Abb. 2.25 dargestellt ist.



**Abb. 2.25: Betontransportsystem<sup>45</sup>**



**Abb. 2.26: Betonage mittels Betonverteiler**

### Verdichten des Betons

Nach dem Einbringen des Betons durch den Betonverteiler (Abb. 2.26), muss dieser noch verdichtet werden (Ausnahme: selbstverdichtender Beton). Nur dadurch sind glatte Sichtflächen und eine einwandfreie vollständige Umhüllung der Bewehrung

<sup>42</sup> Fa. Oberndorfer: Architektenordner 2012, S.120.

<sup>43</sup> Fa. Oberndorfer: Architektenordner 2012, S.121.

<sup>44</sup> Fa. Oberndorfer: Architektenordner 2012, S.122.

<sup>45</sup> Fa. Vollert Anlagenbau: Betontransportsystem -

<http://www.vollert.de/produkte/betonfertigteilwerke/maschinen-anlagen-und-komponenten-fuer-die-betonfertigteilindustrie/maschinen-und-komponenten-fuer-die-betonfertigteilproduktion/betontransportsystem/>, Zugriff am 30.11.2016.

(Korrosionssicherheit) gegeben. In Abb. 2.27 erfolgt die Verdichtung im Werk mit dem Prinzip der Schüttelverdichtung. Dabei werden niederfrequente horizontale Schwingungen an der Schalung aufgebracht. Der Frischbeton darf sich jedoch nicht entmischen.<sup>46</sup> Abb. 2.28 zeigt den verdichteten Zustand der FT-Elemente, diese werden nun der Nachbehandlung unterzogen.



**Abb. 2.27: Rüttelstation für Verdichtung**



**Abb. 2.28: verdichteter Zustand**

<sup>46</sup> Vgl. Grübl, Weigler, Karl: Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften, 2001, S.206.

### Wärmebehandlung / Nachbehandlung

Der Erhärtungsprozess der FT-Elemente wird in der wärmeisolierten Härtekammer, welche in Abb. 2.29 dargestellt ist, beschleunigt. Dadurch erreicht der Beton rascher seine Transportfestigkeit und die FT-Elemente können so schneller von der Schalung weggenommen werden. Die Schalungspaletten werden übereinander und nebeneinander mithilfe des verfahrbaren Regalbediengerätes gelagert. Die Erhärtung wird vollautomatisch durch Regelung der Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit im Inneren geregelt. Die einfachste Form der Nachbehandlung besteht darin, die Fertigteile in der Schalung zu belassen und diese mit einer dampfdichten Folie abzudecken. Die Lagerung der Fertigteile im Werk im zugluftgeschützten Bereich ist eine Nachbehandlungsart, wodurch ein zu schnelles Verdunsten des Wassers an der Betonoberfläche verhindert wird.<sup>47</sup>



Abb. 2.29: Härtekammer mit Regalbediengerät

### Entnahme und Lagerung im Werk

Nachdem die FT-Elemente ausreichende Festigkeit mithilfe der Härtekammer für den Transport erlangen, können diese aus der Schalung entnommen werden. In Abb. 2.30 werden die FT-Elemente mit einem verfahrbaren Abhebegerät aus der Schalung genommen und zu einem Stapel (Abb. 2.31) aufeinandergelegt. Die speziellen Lasthaken setzen dabei unterhalb des Obergurtes an. Der gesamte Stapel wird schienen-, oder rollengebunden zum Lagerplatz verfrachtet. In Abb. 2.32 werden die Stapel auf Stahlträger in Form von rechteckigen Hohlprofilen gelagert, in dessen Hohlräume dann ein großer Gabelstapler einfahren kann, um den gesamten Stapel in einem Zug auf das Transportfahrzeug zu heben.

<sup>47</sup> Vgl. Bergmeister: Betonkalender 2016, S.449.



Abb. 2.30: Abheben



Abb. 2.31: Stapeln



Abb. 2.32: Lagerung im Werk

### Ausschalen

In hochautomatisierten Anlagen kommt, wie beim Einschalen, wiederum der Schalungsroboter für das Ausschalen zum Einsatz. Durch Scannen der Palette erkennt dieser die Lage der Schalungsteile, löst die Magnetverbindungen und verfrachtet die Schalungsteile wieder zum Ausgangspunkt.

### 2.6.3 Baustelleneinrichtung

In diesem Abschnitt werden nun einige Elemente der Baustelleneinrichtung speziell für den Einsatz von Betonfertigteilen erläutert, wie etwa:

- Hebezeuge
- Baustraßen

#### Hebezeuge

Die Bemessung des Krans erfolgt nach dem erforderlichen Traggmoment  $[tm]$ , welches sich aus der Traglast  $[t]$  • zugehöriger Ausladung  $[m]$  ergibt. Unter Umständen kann jedoch die maximale erforderliche Traglast  $[t]$  für die Kranauswahl maßgebend sein, wie etwa für das

Betonieren mittels Krankübel, Heben von Schalungsteilen oder fürs Versetzen von Fertigteilen und diversen anderen Montageeinheiten.

In Abb. 2.33 sind zwei Bereiche der Traglast dargestellt. Im ersten Bereich, jenem mit konstanter Traglast, wird die max. Tragfähigkeit durch das Hubseil bestimmt, während im zweiten Bereich, im abfallenden Ast, die max. Tragfähigkeit durch das Lastmoment des Krans bestimmt wird.

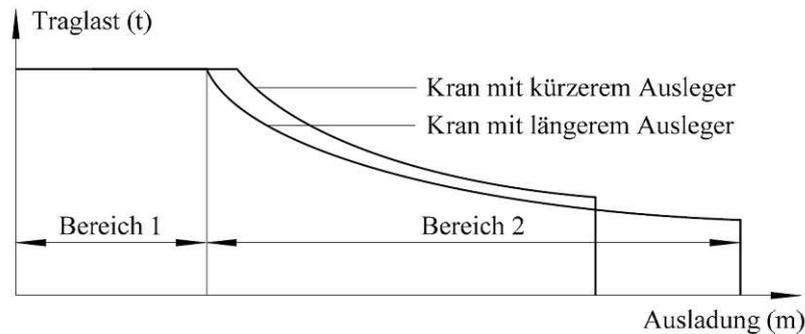


Abb. 2.33: Traglastkurven eines Turmdrehkranes<sup>48</sup>

Im Folgenden werden die Kranleistungen der Ortbetonbauweise und der Fertigteilbauweise tabellarisch angegeben.

Krananzahl über Beschäftigtenanzahl

Je nach Bauweise (Ortbeton, Fertigteil, etc.) variiert die Anzahl der Arbeiter vor Ort. Aus dieser Arbeiteranzahl kann die Anzahl an Kranen bestimmt werden. Diese Vorgehensweise ist jedoch nur ein grober Richtwert.

Bauwerkstyp	Beschäftigte pro Kran
Mauerwerksbau	15
Betoneinbau mittels Rohrförderung	20 - 30
Betoneinbau mittels Kran	15 - 20
Fertigteilmontage	3 - 5

Tab. 2: Richtwerte für Anzahl der Arbeitskräfte je Kran<sup>49</sup>

Krananzahl über das Gebäudevolumen und die Baustoffmengen

Eine andere Alternative zur Bestimmung der Krananzahl besteht darin, das Gebäudevolumen und die Baudauer zu bestimmen, um weiters auf den Baustoffbedarf je Bruttorauminhalt [t/m<sup>3</sup>] und die mit dem Kran zu befördernde Baustoffmenge je Monat [t/Mo] zu schließen. Dies ist in Tab. 3 angeführt.

<sup>48</sup> Vgl. Schach R., Otto J.: Baustelleneinrichtung, 2011, S.26.

<sup>49</sup> Vgl. Jodl: Einrichtung und Betrieb von Baustellen, Studienblätter - Vorlesung SS 2012, S.151.

Baustoffbedarf je m <sup>3</sup> Bruttorauminhalt	0,35 - 0,65 t/m <sup>3</sup>
zu befördernde Baustoffmenge je Monat	300 - 500 t/Mo

Tab. 3: Richtwerte für Leistungsermittlung von Kranen im Hochbau<sup>50</sup>

In Tab. 4 sind Richtwerte für die Bemessung von Kranen speziell für die Fertigteilbauweise angegeben. Der Vergleich mit den je Monat zu hebenden Lasten aus Tab. 3 zeigt, dass im Fertigteilbau fast die dreifache Tonnage je Monat mit dem Kran befördert wird.

Kranleistung in t	50 – 80 t je Schicht
Kranleistung in Elementanzahl	8 – 15 Elemente je Schicht
Kranleistung in t je Monat	1.000 – 1.400 t/Mo

Tab. 4: Richtwerte für Leistungsermittlung von Kranen im Fertigteilbau<sup>51</sup>

### Randbedingungen für Krandidimensionierung beim Versetzen von Fertigteilen

Maßgebend für die erste Abschätzung ist das maximale Elementgewicht des zu versetzenden Fertigteils und dessen Entfernung zum Bestimmungsort. Bereits bei der Planung besteht jedoch die Möglichkeit das Elementgewicht durch Geometrievariation (Breite, Länge, Höhe, etc.) auf einen Sollwert zu überführen, welcher unmittelbar die Krandidimensionierung beeinflusst. Jedoch ist dabei zu bedenken, dass eine Gewichtsreduktion zu einer höheren Anzahl an Fertigteil-elementen führt, welche sich unter Umständen nachteilig auf den Baubetrieb auswirken. Das unmittelbar angeführte Beispiel erläutert die Auswirkungen, welche systembedingt bei einer Veränderung der Geometrie entstehen.<sup>52</sup>

#### Beispiel:

Gegeben sei ein 5 m langes und 2,60 m raumhohes Hohlwandelement, welches in einem Zug mit einem Kran in einer Versetzweite von 20 m zum Kranmittelpunkt zu versetzen ist. Dieses Element weist bei einem Flächengewicht von 250 kg/m<sup>2</sup>, vorausgesetzt beide Schalen sind 5 cm stark, ein Elementgewicht von 3,25 Tonnen auf. Der Kran muss an dieser Stelle mindestens ein Traglastmoment von 65 tm aufweisen. Wird nun das 5 m lange Element in zwei gleiche Elemente geteilt, würde das erforderliche Traglastmoment nur mehr die Hälfte, also 32,5 tm betragen. Der vorzuhaltende Kran ist mit Sicherheit billiger, bei Betrachtung dieser 5 m langen Wandscheibe. Bei genauem Hinsehen fällt jedoch auf, dass für die zwei Elemente nahezu die doppelte Zeit fürs Versetzen veranschlagt werden kann, was sich negativ auf die Bauzeit und somit auf die Lohnkosten auswirkt. Das Hantieren mit Fertigteilen stellt dazu noch im Schwenk-, und Versetzbereich eine besondere Gefahr dar. Wegen dieser Gefahrensituation sollte das Ziel daher sein, mit einer möglichst geringen Anzahl an Fertigteilen auszukommen, um die Anzahl der Lastspiele und somit das Gefahrenpotential zu reduzieren. Ein Nachteil ist die zusätzliche Fuge, welche durch die

<sup>50</sup> Vgl. Girmscheid G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse, 2010, S.234.

<sup>51</sup> Vgl. Zilch: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2013, S.903.

<sup>52</sup> Vgl. Schach R., Otto J.: Baustelleneinrichtung, 2011, S.27 ff.

Trennung entsteht und durch einen speziellen Fugenmörtel bzw. Fugendichtstoff geschlossen werden muss, welcher wiederum zusätzliche Kosten verursacht. Die Ästhetik könnte aufgrund der zusätzlichen Fuge darunter leiden. Die zwei geteilten Elemente müssen kraftschlüssig miteinander verbunden werden. Dies geschieht üblicherweise mit Verbindungskörben (Bewehrungskörbe), welche in den Hohlraum gestellt werden. Dies erfordert somit einen höheren Bewehrungsbedarf und es entstehen zusätzlich Lohnkosten für den Einbau des Bewehrungskorbes. Hier wäre wiederum das Ziel anzustreben, möglichst wenig Fugen auszubilden, um das Gewicht von Bewehrungsstahl und deren Einbaukosten auf ein Minimum zu begrenzen. Ein weiterer zu erwähnender Nachteil wäre, dass für mehrere Elemente, je nach Höhe und Breite des Elements, eine höhere Anzahl an Abstützungen notwendig wird. Zu guter Letzt sei noch erwähnt, dass bei Teilung der Elemente, je nach Bauvorhaben, eine gesonderte Fuhre notwendig werden kann. Für eine genaue Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind solche Randbedingungen gesondert zu analysieren.

Beim überwiegenden Einsatz von Betonfertigteilen und anderen schweren Montageeinheiten auf der Baustelle kann der Turmdrehkran, wenn soweit vorgesehen, auf die schwersten Elemente bemessen werden. Lastaufnahmeeinrichtungen, welche zum Versetzen der Fertigteile notwendig sind, müssen ebenfalls Beachtung finden. Diese Situation trifft dann zu, wenn das gesamte Projekt in Fertigteilbauweise abgewickelt wird. Bei einer Mischbauweise ist die Option durchaus sinnvoll, einen schwächeren Turmdrehkran in Kombination mit einem stärkeren Fahrzeugkran (Mobilkran) für einige schwere Elemente zu verwenden, um eine generelle Überdimensionierung des Turmdrehkranes zu vermeiden. Abb. 2.34 veranschaulicht diese Situation schematisch.

Anhaltswerte von Montagegewichten von Elementdecken und Hohlwandelementen können aus Tab. 5 und Tab. 6 entnommen werden, diese variieren je nach Plattendicke und Bewehrungsgehalt.

Element- breite 2,4m	Elementlänge [m]														
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	9
Gewicht [kg]	300	450	600	750	900	1.050	1.200	1.350	1.500	1.650	1.800	1.950	2.100	2.250	2.400

**Tab. 5: Elementgewicht von Elementdeckenplatten mit 5 cm Plattenstärke**

Schalenstärke [cm]	Elementgewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
5 + 5	250
6 + 6	300

**Tab. 6: Elementgewicht von Hohlwandplatten**



**Abb. 2.34: Einsatz von Turmdrehkranen in Kombination mit Mobilkranen<sup>53</sup>**

Mit einem LKW-Heckkran werden in Abb. 2.35 die Elemente transportiert und zugleich mit dem integrierten Fahrzeugkran versetzt. So wird dann verfahren, wenn beispielsweise vor Ort kein stationärer Kran vorgesehen werden soll. Der Lieferant stimmt das Gewicht der zu liefernden Fertigteile mit dem Fahrzeugkran ab. Eine Elementteilung kann unter Umständen notwendig werden, wenn die Tragfähigkeit des Krans überschritten wird. Wegen der eher geringen Tragfähigkeit ist der LKW-Heckkran bedingt einsetzbar und daher nur für kleinere Bauvorhaben geeignet. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass das Fahrzeug mit dem integrierten Kran ausreichend standfesten Platz hat.



**Abb. 2.35: Verlegung einer Elementdecke mittels Fahrzeugkran<sup>54</sup>**

<sup>53</sup> [https://farm9.static.flickr.com/8434/7757599808\\_09e3d9350a\\_b.jpg](https://farm9.static.flickr.com/8434/7757599808_09e3d9350a_b.jpg), Zugriff am 29.09.2020.

Werden vor Ort keine Fertigteile oder andere vorgefertigte Montageeinheiten vorgesehen und wird beispielsweise eine Ortbetonbaustelle abgewickelt, so wird in erster Linie die Tragfähigkeit des Kranes i.d.R. durch den Transport von Großflächenschalungen und/oder durch den Transport mittels Betonkübel bestimmt. Für eine erste Abschätzung können die in Tab. 7 und Tab. 8 angegebenen Gewichtsannahmen für Betonkübel und Schalung herangezogen werden. Gewicht zufolge Lastaufnahmeeinrichtung und Beförderung von Personen muss ebenfalls berücksichtigt werden.

Fassungsvermögen [l]	Gesamtgewicht v. Kübel + Beton [kg]	Leergewicht [kg]
500	1.400	150-200
750	2.000	200-270
1000	2.800	220-350
1500	4.000	370-450
2000	5.300	450-500

Tab. 7: Fassungsvermögen, Gesamtgewicht, Leergewicht der Betonkübel<sup>55</sup>

System - Schalung	Gewicht
Modulschalung	30 – 40kg/m <sup>2</sup>
Modulschalung mit zusätzlicher Schalhaut	20 – 30kg/m <sup>2</sup>
Deckenschaltische (Holz/Stahl)	45 – 60kg/m <sup>2</sup>
Versetzsnabel	1.500 kg

Tab. 8: Schalungsgewichte<sup>56</sup>

Verglichen mit einer Fertigteilbaustelle kann festgehalten werden, dass bei einer Ortbetonbaustelle die Hebezeuge im Allgemeinen schwächer ausfallen.

### Baustraßen<sup>57</sup>

Mittels Baustraßen wird die Baustelle über die Baustellenzu- und -ausfahrt an das öffentliche Straßennetz angeschlossen. Sie werden für den Transport von Baumaterial und Abfällen während der Dauer der Baumaßnahme, also temporär, errichtet. Die Nutzungsdauer, Anzahl der Überfahrten, auftretende Radlasten und die Fahrzeugabmessungen, Einbahnverkehr bzw. Richtungsverkehr sind für die Bemessung des Oberbaus von relevanter Bedeutung. Im Abschnitt 4.3 wurden einleitende Anmerkungen zum Transport angeführt, welche sinngemäß für Baustraßen Geltung finden.

<sup>54</sup> www.Hausbauen24.eu: Elementdecke verlegen - <https://www.hausbauen24.eu/decke-betonieren-filigrandecke/>, Zugriff am 29.09.2020.

<sup>55</sup> Vgl. Schach R., Otto J.: Baustelleneinrichtung, 2011, S.26.

<sup>56</sup> Vgl. Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1276.

<sup>57</sup> Vgl. Wirtschaftliche und sichere Baustelleneinrichtung, herausgegeben von Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

## 2.7 Hohlwand

In diesem Abschnitt wird die Hohlwand mit ihren Besonderheiten beschrieben und anschließend der Herstellprozess erläutert.

### 2.7.1 Systembeschreibung

Die Hohlwand, umgangssprachlich Doppelwand oder Elementwand bezeichnet, ist ein ebenfalls industriell gefertigtes Element, bestehend aus zwei bewehrten 5 - 7 cm starken Betonplatten, welche mit Gitterträgern untereinander stabil verbunden werden (Abb. 2.36). Diese werden gemäß „ÖNORM EN 14992 Betonfertigteile – Wandelemente“ produziert.<sup>58</sup>



Abb. 2.36: Lieferzustand Hohlwand<sup>59</sup>

Zum Abheben und Versetzen der Elemente dienen Abhebeschlaufen, welche mit der Bewehrung fest einbetoniert werden. Nach gesicherter Positionierung mittels Richt- bzw. Schrägstützen in der endgültigen Lage und anschließender Abschaltungs- und Bewehrungsarbeiten, unter anderem Einstellen der Fugenkörbe (Abb. 2.37) für die kraftschlüssige Verbindung der Elemente untereinander, wird der Raum zwischen den beiden Schalen mit Ortbeton verfüllt. Die ausbetonierte Hohlwand wird statisch schlicht als monolithische Ortbetonwand bemessen. Ein exemplarischer Montageablauf der Hohlwand ist im Abschnitt 4.4.3 angeführt.

<sup>58</sup> Fa. Oberndorfer: Hohlwand - <http://www.oberndorfer.at/produkte/wandsysteme/hwe-hohlwandelemente/>, Zugriff am 29.09.2020.

<sup>59</sup> Fa. Progress: Doppelwand - <https://www.progress.cc/de/progress-doppelwand-wandsystem-mit-charakter>, Zugriff am 25.09.2020.

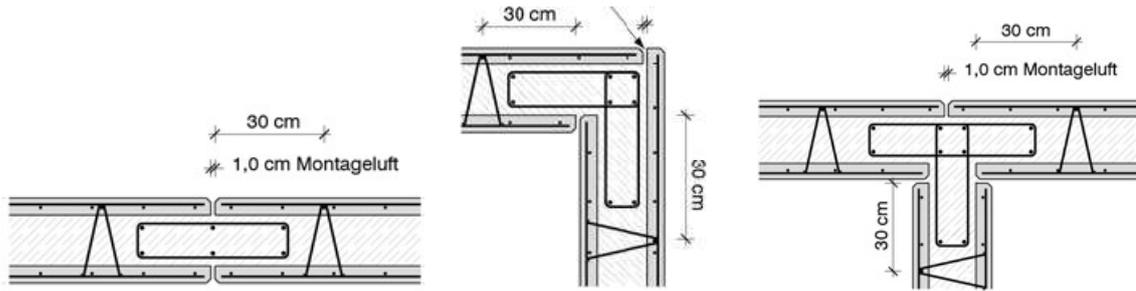


Abb. 2.37: Fugenkörbe<sup>60</sup>

Je nach Hersteller können verschiedene Einbauteile bereits werkseitig eingebaut werden. Dadurch entfallen Arbeiten für Subunternehmer, ein Vorteil, vor allem dann, wenn Zeit auf der Baustelle eingespart werden soll. Das Einbauen diverser Elektroeinbauteile, wie z.B. Elektrodosen, Elektroschläuche, der Einbau von Bewehrungsteilen wie Bewehrungsanschlüsse, Bewehrungskörbe, sogar der Einbau von Tür- und Fensterzargen ist möglich. Teilweise wird von einigen Herstellern bereits Betonkernaktivierung realisiert, indem werkseitig in den Schalen Heiz- und Kühlregister eingelegt werden. Abb. 2.38 stellt ein Regeldetail beim gleichzeitigen Einsatz von Hohlwand und Elementdecke dar. Bei der Hohlwand wurde die äußere Schale bis auf Deckenoberkante verlängert, wodurch sich eine Rostabschalung erübrigt. Hohlwände können als wasserundurchlässige Bauwerke errichtet werden.<sup>61</sup>

<sup>60</sup> Fa. VS Hohldielen West: Verbindungskörbe - <http://www.vs-west.at/at/hwe-detail-verbinding.html>, Zugriff am 25.09.2020.

<sup>61</sup> Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke – Weiße Wannen“ gemäß ÖVBB beachten.

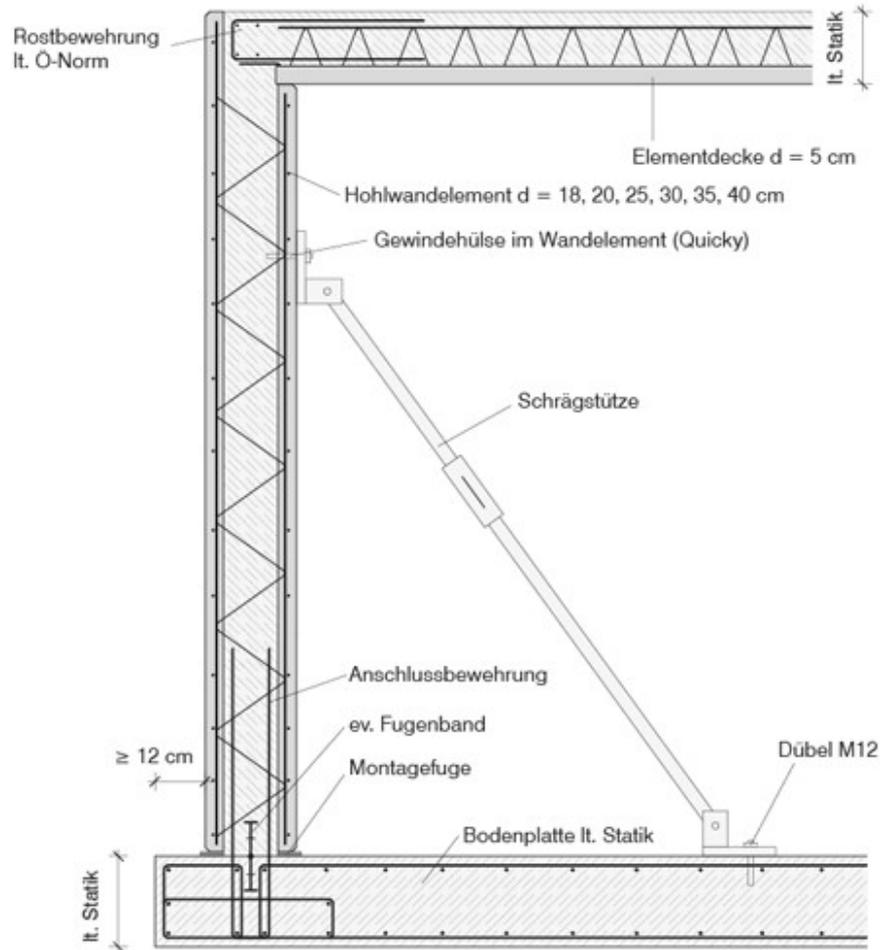


Abb. 2.38: Knoten Fundament / Hohlwand / Elementdecke<sup>62</sup>

Beliebige Geometrie in Grund- und Aufriss ist möglich, wodurch die Hohlwand heutzutage überall eingesetzt werden kann. Lediglich herstellerepezifische Mindestgrößen sind zu beachten. Es besteht die Möglichkeit, dass Hohlwände bereits werkseitig mit innen- oder außenliegender Wärmedämmung produziert werden. Ab einer gewissen Wandstärke können Hohlwände mit innenliegender Wärmedämmung hergestellt werden, sowie in Abb. 2.39. Für den Baubetrieb ist dies insofern relevant, als das Fassadenarbeiten (Sockelputz, Perimeterdämmung) entfallen können, wodurch sich die Bauzeit verkürzt. Zudem kann innenliegende Wärmedämmung nicht beschädigt werden.

<sup>62</sup> Fa. VS Hohdielen West: Hohlwanddetails - <http://www.vs-west.at/at/hwe-details.html>, Zugriff am 25.09.2020.



Abb. 2.39: kerngedämmte Hohlwand<sup>63</sup>

### 2.7.2 Produktion

Die Wandelemente werden vollautomatisch nach Kundenwunsch gefertigt. Die Produktion entspricht der Elementdeckenproduktion in einer Umlaufanlage. Es wird dabei zunächst eine Elementdecke produziert, diese gewinnt an Festigkeit in der Härtekammer. In Abb. 2.40 ist dies der rechte Zyklus. Danach wird diese Elementdecke umgedreht und in die zweite bewehrte unverfestigte Schale abgesetzt. Es startet nun der linke Zyklus in Abb. 2.40. Nach erneutem Verdichtungsvorgang und Härteprozess ist das Resultat die Hohlwand. Die einzelnen Arbeitsschritte der Hohlwandproduktion werden hier nicht näher behandelt, da sie fast ident mit der Elementdeckenproduktion sind. Diese wurden bereits ab Seite 20 behandelt. Lediglich der Wendevorgang und die Verbindung der beiden Schalen werden im Anschluss separat angeführt.

---

<sup>63</sup> Fa. DI Markus Kuhlant ZT: gedämmte Hohlwand - <http://www.kuhlant.at/project.php?project=170-08+>, Zugriff am 25.09.2020.

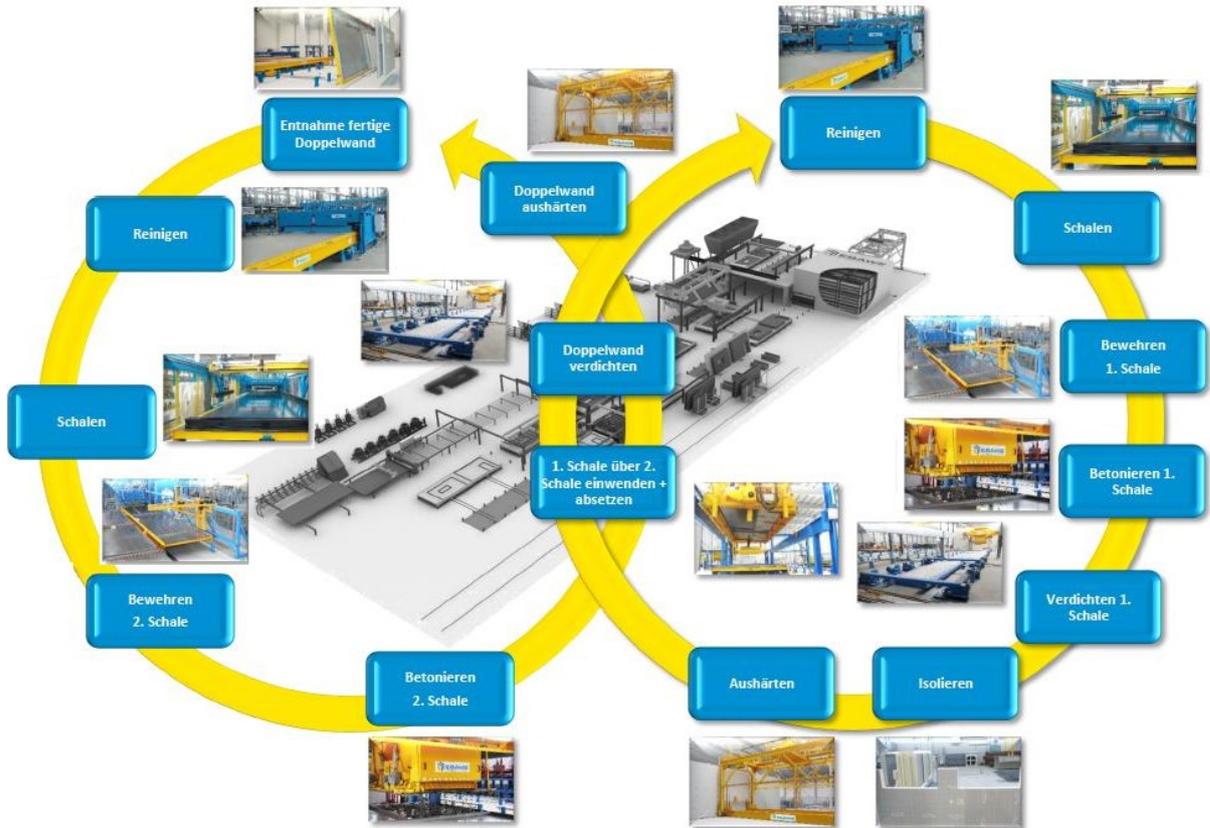


Abb. 2.40: Zyklus einer Hohlwandproduktion<sup>64</sup>

### Wendevorgang im Herstellerwerk

In Abb. 2.41 wird der Wendevorgang dargestellt. Die ausgehärtete erste Schale wird mithilfe einer speziell dafür vorgesehenen Wendeeinrichtung umgedreht und auf der darunterliegenden zweiten Schale aufgesetzt.



Abb. 2.41: Wendeeinrichtung für Hohlwände<sup>65</sup>

<sup>64</sup> Fa. Ebawe Anlagentechnik: Hohlwandproduktion, adaptiert - <https://www.ebawe.de/de/anlage-fur-doppelwande>, Zugriff am 25.03.2018.

### Verbindung der beiden Schalen

Statt herkömmliche Gitterträger zu verwenden, welche die beiden Schalen lagemäßig zusammenhalten, besteht die Möglichkeit, von der Fa. Kappema® eigens entwickelte und zugelassene „Welle“ aus Stahlblech zu verwenden, welche von einigen Herstellern bereits in den Hohlwänden eingebaut werden. Diese werden gebogen und lagern auf den „Formsticks“ aus Edelstahl auf. Dieses System ist in Abb. 2.42 und Abb. 2.43 dargestellt.



Abb. 2.42: Kap-Stahl-Welle<sup>66</sup>



Abb. 2.43: Einbau Kap-Stahl-Welle<sup>67</sup>

<sup>65</sup> Fa. Ebawe Anlagentechnik: Wendeeinrichtung - <https://www.ebawe.de/de/wendeeinrichtung>, Zugriff am 25.03.2018.

<sup>66</sup> Fa. Bauverlag BV: [https://www.bft-international.com/de/artikel/artikel\\_965771.html](https://www.bft-international.com/de/artikel/artikel_965771.html), Zugriff am 25.09.2020.

<sup>67</sup> Fa. Kappema: Stahlwelle - <http://www.kappema.com/de/article/wie-wird-die-kap-stahl-welle-gebaut/>, Zugriff am 25.09.2020.

### 3 Grundlagen Ortbetonbauweise

Dieser Abschnitt behandelt das Herstellen von Stahlbetonbauteilen, welche direkt am endgültigen Ort (auf der Baustelle) hergestellt werden, sprich Ortbetonbauweise. Um die Stahlbetonbauteile in ihre gewünschte Form zu bringen, ist eine formgebende Hilfskonstruktion („Hülle“) aus Holz, Alu, Stahl etc. unabdingbar. Diese temporäre Hilfskonstruktion wird Schalung genannt. In dieser Schalung wird der Frischbeton an Ort und Stelle (Ortbeton) eingebracht und verdichtet. Nachdem der frische Beton in der Schalung ausreichend erhärtet ist (Festbeton), kann diese entfernt werden. Das Resultat ist das endgültige Aussehen und die Form des gewünschten Bauteils, welcher in Ortbetonbauweise hergestellt wurde.<sup>68</sup> In diesem Abschnitt werden zunächst die Vor- und Nachteile der Ortbetonbauweise näher erläutert. In weiterer Folge werden wichtige Elemente der Planung, wie etwa die Schalungsplanung und aufbauend darauf die Bauablaufplanung beschrieben. Schalungssysteme, die für die maßgebliche Formgebung des Betons verantwortlich sind, werden ebenso beschrieben, wie auch das Einbringen, Verdichten des Betons und die Nachbehandlung.

#### 3.1 Vorteile der Ortbetonbauweise

- ◆ Verschiedene Tragkonstruktionen aus Stahlbeton (Decken, Wände, Unter-, Überzüge, Stützen etc.) bilden i.d.R. gemeinsam monolithische Konstruktionen („Bauteil aus einem Guss“), welche untereinander biegesteif verbunden sind. Eine daraus resultierende Durchlaufwirkung führt zu geringeren Bauteilabmessungen.<sup>69</sup>  
Der Widerstand gegen Horizontaleinwirkungen (z.B. Erdbeben) wird durch die biegesteifen Knoten erhöht (durch z.B. Rahmentragwerke).<sup>70</sup>
- ◆ Theoretisch ist bei der Ortbetonbauweise maximale Freiheit hinsichtlich Entwerfen und Konstruieren gegeben. Beliebige Querschnittsabmessungen und Längenausdehnungen sind, bei Einhaltung baupraktischer Betonierabschnitte, demnach möglich. Großflächige Bauteile, wie etwa Wände und Decken, lassen sich in einem Stück herstellen, bei der konkurrierenden Fertigteilbauweise ist dies nicht möglich.<sup>71</sup>
- ◆ Weil Stahlbetonbauteile in einem Zug „gegossen“ werden, sind deren Tragwerke i.A. fugenlos. Bei hohen Anforderungen der Dichtheit wird der Ortbetonbauweise der Vorzug gegeben, um keine oder möglichst wenig Fugen zu erzeugen.<sup>72</sup>
- ◆ Kurzfristige Planänderungen können vor Betonage umgesetzt werden.

<sup>68</sup> Vgl. Krass: Grundlagen der Bautechnik, 2009, S. 120.

<sup>69</sup> Vgl. Hestermann: Frick/Knöll Baukonstruktionslehre, 2009, S. 260.

<sup>70</sup> Vgl. Moro: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 2 Konzeption, 2009, S. 594.

<sup>71</sup> Vgl. Moro: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 2 Konzeption, 2009, S. 554, 564.

<sup>72</sup> Vgl. Moro: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 3 Umsetzung, 2009, S. 300.

### 3.2 Nachteile der Ortbetonbauweise

- ◆ Schalungen müssen individuell an die Bauteilgeometrie angepasst werden. Dies ist i.d.R. mit hohem Arbeitsaufwand verbunden. Auf die Herstellung von Stahlbetonbauteilen entfällt der Lohnanteil laut Krause<sup>73</sup> mit 22 % und davon auf Schalarbeiten mit rund 75 %.
- ◆ Abhängig von den Bauteilabmessungen und des zu verwendenden Betons sind Ausschulfristen einzuhalten, welche die Bauzeit verlängern.
- ◆ Eine nachträgliche Änderung bzw. Verstärkung von Stahlbetonarbeiten ist nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich.
- ◆ Der Abbruch von Stahlbetonbauteilen gestaltet sich, wegen den biegesteifen Verbindungen, sehr aufwändig. Die abgebrochenen Bauteile können nicht mehr wiederverwendet werden.<sup>74</sup>
- ◆ Bei Ortbetonbauweise ist auf entsprechende Lagerflächen für Schalungsmaterial und Bewehrung Bedacht zu nehmen. Diese sind im innerstädtischen Bereich begrenzt, weshalb aus logistischen Gründen anderen Verfahrensvarianten, wie z.B. der Fertigteilbauweise, der Vorzug gegeben wird.<sup>75</sup>
- ◆ Bei großvolumigen Bauteilen ist die Betonage nicht in einem Arbeitsgang möglich. Das Betonieren erfolgt dann meist in verschiedenen Abschnitten (Betonierabschnitte). Diese Betonierabschnitte sind zugleich Arbeitsfugen, deren Lage und Anzahl von Bedeutung sind und in Zusammenarbeit mit dem Konstrukteur ermittelt werden müssen. Die Bewehrung (Anschlusseisen) muss dabei über die Arbeitsfuge hinaus verlängert werden, um mit der Bewehrung des benachbarten Betonierabschnitts zu übergreifen.<sup>76</sup>

### 3.3 Planung

Die immer komplexeren Bauwerke erfordern immer höherwertige Planung, zudem werden die Planungsphasen aufgrund des Zeitdrucks verkürzt. Für die Bauwirtschaft ist dies insofern relevant, da der zunehmende und komplexere Informationsstand der Planung in die Ausführungsphase übermittelt werden muss, und dies so rechtzeitig, dass für niemandem ein Nachteil entsteht. Um die geforderten Ziele Qualität, Kosten und Termine bestmöglich zu erfüllen, ist eine sorgfältige Planung, vor allem vor der Errichtung eines Gebäudes (Arbeitsvorbereitung), der Schlüssel zum Erfolg. Dies ist die Aufgabe des Bauleiters. Nachfolgend werden daher einige dieser planungsrelevanten Themen angeführt.

#### 3.3.1 Schalungsplanung

Ziel der Schalungsplanung ist es, mit möglichst wenig Material eine hohe Produktivität zu erreichen. Dies wird durch die Bestimmung der optimalen (zu vorhaltenden)

<sup>73</sup> Vgl. Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1270.

<sup>74</sup> Vgl. Hestermann: Frick/Knöll Baukonstruktionslehre, 2009, S.260.

<sup>75</sup> Vgl. Hofstadler: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, 2007, S.46.

<sup>76</sup> Vgl. Moro: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 2 Konzeption, 2009, S.582.

Schalungsmenge in Bezug auf die Größe des Fertigungsabschnittes erreicht. Je kleiner der gewählte Schalungsabschnitt ist, desto weniger Schalung muss vorgehalten werden, was billiger ist. Jedoch steigt der Aufwand wegen der zunehmenden Arbeitsfugen.<sup>77</sup>

Die Wahl geeigneter Schalungssysteme hängt von

- ◆ der Gebäudegeometrie,
- ◆ der Bauzeit,
- ◆ den Krankapazitäten (kranunabhängige und kranabhängige Systeme),
- ◆ der Anzahl der Wiederholungen der Schalvorgänge,
- ◆ den Personalkosten ab.<sup>78</sup>

Heutzutage erfolgt die Schalungsplanung i.d.R. EDV-unterstützt, wie in Abb. 3.1, mit Einsatz moderner Software. In dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die Planung dreidimensional erfolgt. Vor allem beim Schalen geometrisch anspruchsvoller Bauteile bietet dies Vorteile. Rasch kann bei Änderung dadurch festgestellt werden, ob und wie viel Schalungsmaterial zusätzlich benötigt wird. Durch die Software wird vollautomatisch eine Stückliste generiert, diese Schalungsteile werden lt. Stückliste sodann zur Baustelle geliefert. Eine weitere wichtige Dienstleistung von Schalungsanbietern ist das Erstellen von Taktplänen, dadurch lässt sich der Bauablauf noch weiter optimieren.<sup>79</sup>

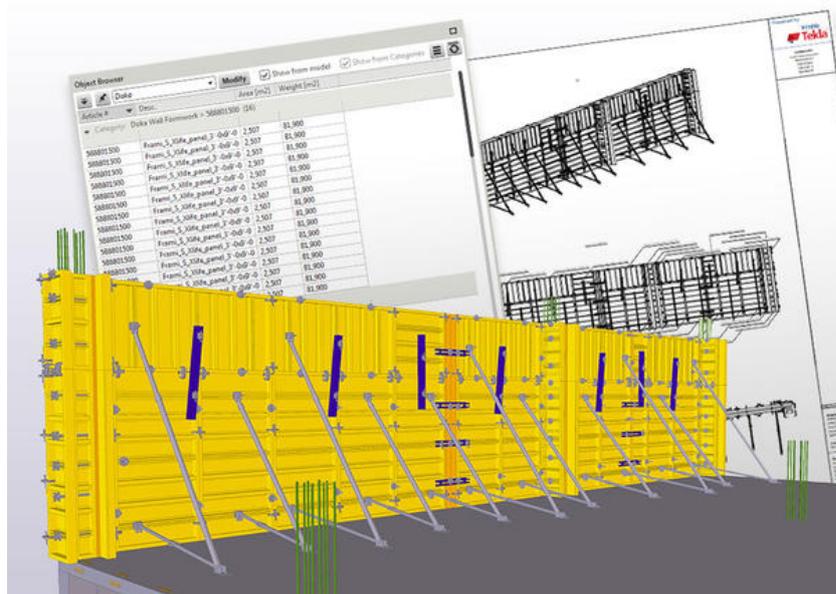


Abb. 3.1: EDV-unterstützte Schalungsplanung<sup>80</sup>

<sup>77</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S.257.

<sup>78</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S.257.

<sup>79</sup> Vgl. Schmitt: Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik, 2001, S.463.

<sup>80</sup> Fa. Trimble Solutions Germany: Schalungsplanung -

<https://www.tekla.com/de/l/%C3%B6sungen/bauunternehmer/schalungsplanung>, Zugriff am 25.09.2020.

### 3.3.2 Arbeitsfugen

Weil Stahlbetonbauwerke nicht immer in einem Arbeitsgang hergestellt werden, sind Betonierabschnitte notwendig. Sollte das Betonieren zweier benachbarter Abschnitte nicht „frisch auf frisch“ erfolgen, so sind die dadurch entstehenden Fugen Arbeitsfugen. Deren Anzahl sollte so gering wie möglich sein. Die benachbarten Betonierabschnitte müssen kraftschlüssig miteinander verbunden sein, damit die auftretenden Kräfte in der Arbeitsfuge aufgenommen werden können. Arbeitsfugen sollten generell in hoch beanspruchten Bauwerksteilen vermieden werden. Üblicherweise werden Arbeitsfugen durch Streckmetall oder Drahtgewebe begrenzt, wobei die Oberfläche des angrenzenden Betons rau sein muss.<sup>81</sup>

### 3.3.3 Taktfertigung und Bauablaufplan

Ortbetonbaustellen werden aus herstellungsbedingten Gründen in mehrere, idealerweise gleich große Fertigungsabschnitte, geteilt. Die Vorgänge Schalen – Bewehren – Betonieren erfolgen wiederkehrend, also im sog. „Takt“. Der Personal-, Material- und Geräteeinsatz muss auf die Größe des Fertigungsabschnittes abgestimmt sein.<sup>82</sup>

Pos.	BAS	Menge E	Bauteil/Abschnitt	Tätigkeit/Leistung	Aufwand h/E	Gesamt h	AK/Kolonne	Arbeitstage d	Bemerkung
116	331	250 m <sup>2</sup>	Decke EG	einschalen	0,50	125,0	6	2,31	Takt 1 9 h/d
	415	3,15 t		bewehren	12,0	37,8	3	1,40	
	433	45 m <sup>3</sup>		betonieren	0,60	27,0	4	0,75	
	331	250 m <sup>2</sup>		ausschalen	0,10	25,0	6	<u>0,46</u>	
								4,92	
117	321	360 m <sup>2</sup>	Wände OG	einschalen	0,40	144,0	6	2,67	Takt 2 9 h/d
	411	1,62 t		bewehren	14,0	22,7	4	0,63	
	443	32,4 m <sup>3</sup>		betonieren	0,75	24,3	4	0,68	
	321	360 m <sup>2</sup>		ausschalen	0,15	54,0	6	<u>1,00</u>	
								5,01	

Abb. 3.2: Arbeitsverzeichnis<sup>83</sup>

Ausgangspunkt für die Planung der Taktfertigung ist die Erstellung eines Arbeitsverzeichnisses, sowie in Abb. 3.2 dargestellt. Mithilfe der darin angenommenen Aufwandswerte und den errechneten Fertigungsmengen, die von der Anzahl der Arbeitskräfte abhängig sind, lassen sich die Vorgangsdauern bestimmen. Ein Bauablaufplan (Detailbauzeitdiagramm) kann erstellt werden. In Abb. 3.3 ist ein Bauablaufplan eines Projektes dargestellt. Beispielsweise wird die Decke ü. 2.OG am 14.05.2018 betoniert. In weiterer Folge bedeutet dies, dass alle Vorleistungen (z.B. Einlegearbeiten) bis zum Betonierzeitpunkt abgeschlossen sein müssen. Sinnvoll ist der Bauablaufplan auch für Materialbestellungen. Diese können auf den Tag genau erfolgen.

<sup>81</sup> Bundesverband der Deutsche Zementindustrie: Zement-Merkblatt Betontechnik – Arbeitsfugen, B22, 1.2002.

<sup>82</sup> Vgl. Girmscheid: Angebots- und Ausführungsmanagement – prozessorientiert - Erfolgsorientierte Unternehmensführung 2015, S.363-366.

<sup>83</sup> Vgl. Zilch: Handbuch für Bauingenieure - Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, 2012, S. 936.

Tätigkeit	Beginn	Dauer	Dauer + (Wetter, Feiertag)	Ende	LW 19					LW 20				
					MO	DI	MI	DO	FR	MO	DI	MI	DO	FR
					07.05.2018	08.05.2018	09.05.2018	10.05.2018	11.05.2018	14.05.2018	15.05.2018	16.05.2018	17.05.2018	18.05.2018
<b>Bauteil A (Sigl)</b>														
6 Herstellen Stürze 2.OG	20.04.2018	11	1	07.05.2018	Sub1/Sub2									
7 Schalen Decke ü. 2.OG	03.05.2018	4		08.05.2018	Sub1	Sub1								
8 Aufreißen DDB ü 2.OG	08.05.2018	1		08.05.2018		Eigen								
9 Bewehren Decke ü. 2.OG	09.05.2018	2	1	11.05.2018			Sub2	Sub2						
10 Betonieren Decke ü. 2.OG (13 Uhr)	14.05.2018	1		14.05.2018					Sub1					
11 Aufreißen Wände + Stützen 3.OG	15.05.2018	1		15.05.2018						Eigen				
12 Versetzen HWE + Treppen 3.OG	15.05.2018	2		16.05.2018						Sub1	Sub1			
13 Herstellen Stützen + Wände 3.OG	15.05.2018	5	1	22.05.2018						Sub1/Sub2	Sub1/Sub2	Sub1/Sub2	Sub1/Sub2	
14 Umhängen Kletterbühnen	16.05.2018	1		16.05.2018							Sub1			
15 Herstellen Brüstungen 3.OG	17.05.2018	5		23.05.2018								Sub1/Sub2	Sub1/Sub2	
<b>Bauteil B1 (Sigl)</b>														
33 Herstellen Stützen 2.OG (20 STK)	04.05.2018	5	1	11.05.2018	Sub1/Sub2	Sub1/Sub2	Sub1/Sub2		Sub1/Sub2					
34 Herstellen Brüstungen 2.OG	04.05.2018	3		08.05.2018	Sub1/Sub2	Sub1/Sub2								
35 Schalen Decke ü. 2.OG + Herstellen Stürze	11.05.2018	3		15.05.2018				Sub1/Sub2	Sub1/Sub2	Sub1/Sub2				
36 Aufstellen Schutzgerüst	09.05.2018	1		09.05.2018										
37 Aufreißen DDB ü 2.OG	16.05.2018	1		16.05.2018			Sonstige					Eigen		
38 Bewehren Decke ü. 2.OG	16.05.2018	2		17.05.2018							Sub2	Sub2		

Abb. 3.3: Auszug aus einem Bauablaufplan

### 3.4 Schalungssysteme

Die Hauptaufgabe der Schalung besteht in der Formgebung des Frischbetons bis zu dessen Erstarrung. Dabei spielen i.A. die Oberflächenbeschaffenheit der Schalhaut eine wesentliche Rolle, welche sich als Abdruck auf den Beton widerspiegelt. Schalungen müssen Maßgenauigkeit der einzuschalenden Bauteile garantieren. Schalungen erfüllen eine wichtige statische Funktion, sie müssen die Frischbetonlasten, etwaige Verkehrslasten zufolge Betonage und Verdichtung, Windlasten etc. sicher in den tragfähigen Untergrund leiten.<sup>84</sup>

#### 3.4.1 Aufbau, Übersicht, Bestandteile der Schalung

##### Aufbau

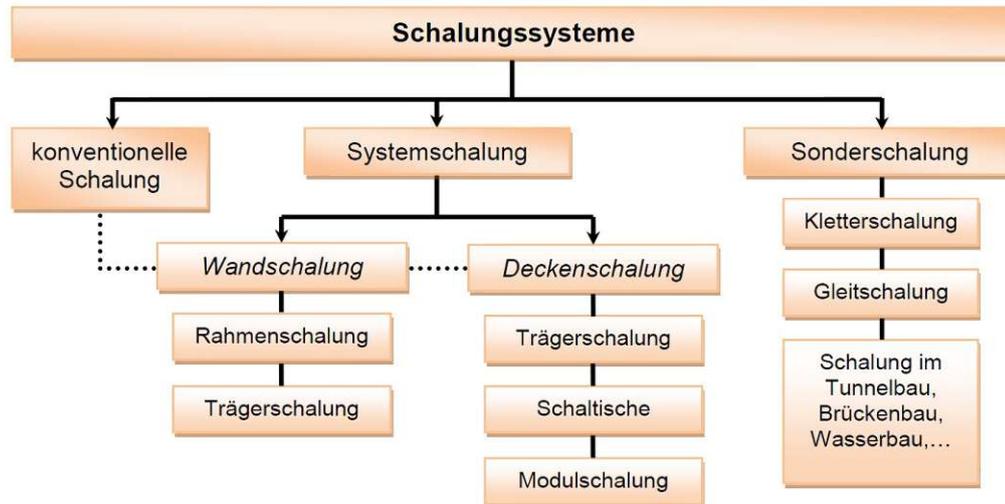
Grundsätzlich sind Schalungen folgendermaßen aufgebaut:

- ◆ Schalhaut
- ◆ Tragkonstruktion (Trägerrost, Rahmenkonstruktion, Gurtung)
- ◆ Abstützungen (bei Wänden: Richtstützen; bei Decken: Deckenstützen)

##### Übersicht

In Abb. 3.4 wird nun ein Überblick über die verschiedenen Schalungssysteme, speziell für die Herstellung von Wänden und Decken gegeben. In dieser Arbeit werden unter anderem die Rahmenschalung und die konventionelle Schalung behandelt, da diese im Abschnitt 5 verwendet werden.

<sup>84</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S.257, 258.

Abb. 3.4: Übersicht von Schalungssystemen<sup>85</sup>

### Konventionelle Schalung

Die konventionelle Schalung ist eine individuell angefertigte, zimmermannsmäßig hergestellte Schalung, bestehend aus Kanthölzern als Tragkonstruktion und einer Schalhaut aus Brettern, welche untereinander mit Verbindungsmitteln zusammengehalten werden. Als Material wird Holz verwendet, welches sich leicht bearbeiten lässt, jedoch den Nachteil hat, dass es in der Einsatzzahl begrenzt ist und daher teilweise wieder entsorgt und neu angeschafft werden muss. Mit diesem Schalungssystem lassen sich beliebige Betonbauteile (Wand, Decke, Unter-, Überzug, Stützen, gekrümmte Bauteile etc.) realisieren. Sie wird nach wie vor, oft für Passbereiche angefertigt. Der Zeit- und Lohnaufwand für die Herstellung solch einer Schalung ist verglichen mit den anderen Schalungssystemen enorm, weshalb in Zeiten des Kosten- und Termindrucks, diese Schalung für große Flächen nur mehr selten zum Einsatz gelangt.<sup>86</sup>

### Systemschalung

Systemschalungen sind Schalungen aus unterschiedlich großen vorgefertigten Einheiten, welche untereinander mit eigens dafür vorgesehenen Verbindungsmitteln einfach und schnell zu größeren Einheiten zusammengefügt werden. Die Verbindungsmittel sind schnell lösbar, wodurch dieses Schalungssystem schnell zerlegt und an die neue Geometrie angepasst werden kann. Ein großer Vorteil liegt darin, dass diese Systeme mehrmals eingesetzt werden. Systemschalungen sind heute Stand der Technik. Die Rahmenschalung etwa, welche im Abschnitt 3.4.2 beschrieben wird, zählt mit Abstand zu den häufigsten Vertretern von Systemschalungen.

### **Bestandteile einer Schalung**

#### Schalhaut

Die Schalhaut (Abb. 4.11) steht durch das Trennmittel unmittelbar mit dem Frisch- bzw. Festbeton in Berührung. Es existieren verschiedene Materialien für die Schalhaut. Die

<sup>85</sup> Adaptiert nach Schach: Grundlagen der Baubetriebslehre 2 - Baubetriebsplanung, 2013, S.152-159.

<sup>86</sup> Vgl. Krass: Grundlagen der Bautechnik, 2009, S. 121.

Auswahl erfolgt in Abhängigkeit der Einsatzzahl und je nachdem welche Betonoberfläche gefordert wird. Die Schalhaut kann aus Vollholz, verleimten Sperrholz (kunststoffbeschichtet), Kunststoff oder Stahlblech bestehen. Um eine glatte Oberfläche zu erhalten, wird eine beschichtete Schalhaut verwendet. Um eine besondere Struktur (Relief) auf Betonoberflächen herstellen zu können, werden Strukturmatrizen<sup>87</sup> verwendet. Auf Baustellen werden vorzugsweise Schalplatten aus Holz verwendet, da deren Bearbeitung einfach und wirtschaftlich ist.<sup>88</sup>

#### Schalungsträger

Schalungsträger (Abb. 4.8) übernehmen die auf der Schalhaut einwirkenden Kräfte (Montage-, Frischbetonlasten, Eigengewicht der Schalung) und leiten diese weiter an die tragfähige Unterkonstruktion. Hauptsächlich werden Kanthölzer und hölzerne vollwandige oder fachwerksartige H-Träger, welche eine hohe Tragfähigkeit aufweisen, verwendet. Schalungsträger aus Metall, werden wegen dem Eigengewicht und der dadurch erschwerten Handhabung selten verwendet.<sup>89</sup>

#### Schalungsstützen

Schalungsstützen (Abb. 4.9) übernehmen die einwirkenden Zug- und Drucklasten von den Schalungsträgern (Rahmenkonstruktion, Gurtungen) und leiten diese weiter zum tragfähigen Grund. Es handelt sich dabei i.d.R. um Rundrohrstützen aus Metall. Diese sind aufgrund eines Innen- und Außenrohres längsverschieblich, also in verschiedenen Höhen verstellbar. Stative („Dreibein“) ermöglichen im Montagezustand die Standsicherheit dieser Stützen. Bei Deckenstützen werden zusätzlich Kopfgabeln auf den Stützen aufgesetzt, als verdrehsteifes Auflager für Schalungsträger (Abb. 4.8).<sup>90</sup> Für die leichtere Handhabung haben einige Hersteller Deckenstützen aus Aluminium im Programm. Sie sind ca. 10 kg leichter als vergleichbare Deckenstützen aus Stahl und mit dem üblichen Zubehör erweiterbar.<sup>91</sup>

#### Anker

Bei beidseitigen Wandschalungen (= doppelhäuptige Schalung) müssen die zwei zueinander gerichteten Schalungsebenen so zugfest miteinander verbunden werden, damit ausreichender Widerstand gegen den Frischbetondruck gegeben ist. In Abb. 3.6 werden Ankersysteme, bestehend aus Ankerstab (Gewindestab aus Stahl), Muttern und Ankerplatten, dargestellt, welche für die Aufnahme der Zugkräfte verantwortlich sind. In Abb. 3.5 wird der eingebaute Anker im Beton dargestellt, ebenso das Hüllrohr, welches als Abstandhalter fungiert und Konen<sup>92</sup>. Die Anker werden punktuell in der Schalungsfläche in Abhängigkeit des Frischbetondrucks verteilt. Durch Ankersysteme bleibt die Schalung formtreu. Nachdem Ausschalen sind die Ankerlöcher sichtbar, welche verputzt oder mit Verschlussstöpsel verschlossen werden. Es werden zwei Einbauvarianten von

---

<sup>87</sup> Strukturmatrizen sind gummiartige Einlagen, welche in die Schalung eingelegt werden, um eine Struktur auf der Betonoberfläche zu erzeugen.

<sup>88</sup> Vgl. Krass: Grundlagen der Bautechnik, 2009, S. 123.

<sup>89</sup> Vgl. Krass: Grundlagen der Bautechnik, 2009, S. 123.

<sup>90</sup> Vgl. Krass: Grundlagen der Bautechnik, 2009, S. 124.

<sup>91</sup> Vgl. Schmitt: Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik, 2001, S.296.

<sup>92</sup> Konen dichten den Übergang zwischen Schalhaut und Hüllrohr, damit kein Beton in das Hüllrohr gelangt.

Schalungsankern unterschieden. Bei der ersten Variante wird ein Hüllrohr verwendet, welches im Beton verbleibt. An den Enden des Hüllrohres werden Kone aufgesetzt. Der Ankerstab wird durch das Hüllrohr hindurch geschoben. Nach dem Ausschalen wird der Anker samt Kone wieder ausgebaut. Die verbleibenden Konelöcher werden mit Verschlussstößeln versehen. Bei der zweiten Variante werden auf den Ankerstahl Kone aufgeschraubt und diese nach dem Ausschalen wieder abgeschraubt. Der Ankerstab verbleibt im Beton. Die Konelöcher werden wiederum mit Verschlussstößeln verschlossen.<sup>93</sup>

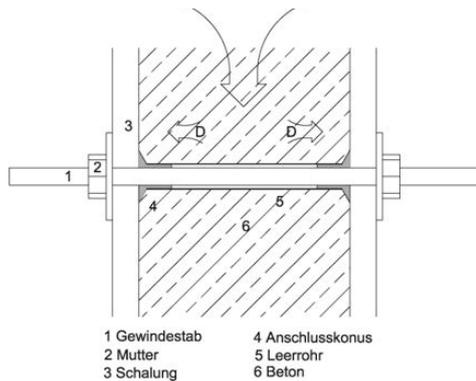


Abb. 3.5: Einbauzustand eines Ankers<sup>94</sup>



Abb. 3.6: Ankersystem<sup>95</sup>

Bei einseitigen Wandschalungen (= einhäuptige Schalung), welche z.B. an Bestandsbauten eingesetzt werden, wird nicht geankert. Die Frischbetonkräfte werden einseitig durch sog. Abstützböcke aufgenommen. Es ist im Vorfeld zu untersuchen, ob die Bestandswand die Frischbetonlasten aufnehmen kann, gegebenenfalls sind Maßnahmen zu treffen.

#### Trennmittel

Ohne Trennmittel würde der Beton an der Schalung haften, sodass ein Lösen der Schalung vom Beton mit hohem Aufwand verbunden wäre. Zudem kann die Schalung beim Lösevorgang beschädigt werden. Um diese Nachteile vorweg zu vermeiden, werden daher Trennmittel eingesetzt. Das Trennmittel versiegelt und konserviert die Schalung. Mit diesem Vorgang werden die Schalungsteile aus Holz gegen Fäulnis und welche aus Stahl gegen Korrosion geschützt. Durch sachgemäße Pflege der Schalung wird die Einsatzzahl und damit die Wirtschaftlichkeit erhöht. Die Schalung wird vor dem Einbau der Bewehrung mit Trennmittel belassen, ein Kontakt mit der Bewehrung muss vermieden werden, um den Verbund zwischen Stahl und Beton nicht zu gefährden. Bei der Auswahl von Trennmittel ist auf die geforderte Oberflächenqualität und auf das Saugverhalten der Schalung Bedacht zu nehmen. Es werden ölige Trennmittel, Ölemulsionen, Pasten und Wachse eingesetzt.<sup>96</sup>

<sup>93</sup> Vgl. opus C - Architektur & Design mit Beton, Ausgabe 6/2005, S. 81.

<sup>94</sup> DI Joachim Schulz: Ankerlöcher Sichtbeton - [http://archiv.sichtbeton-forum.de/sichtbeton\\_ankerloecher.php](http://archiv.sichtbeton-forum.de/sichtbeton_ankerloecher.php), Zugriff am 27.09.2020.

<sup>95</sup> Fa. Exportpages International: Schalungsanker - <https://exportpages.de/comp/142758>, Zugriff am 27.09.2020.

<sup>96</sup> Vgl. Krass: Grundlagen der Bautechnik, 2009, S. 349.

### 3.4.2 Wandschalung

Für die Herstellung von wandartigen Stahlbetonbauteilen am endgültigen Ort sind Wandschalungen erforderlich, welche nun im Anschluss beschrieben werden.

#### Rahmenschalung

Bei der Rahmenschalung (Abb. 3.7) handelt es sich um einen werkseitig geschweißten Rahmen aus Stahl oder Aluminium, bei welchem die Schalhaut bereits integriert ist und durch den Rahmen kantengeschützt ist. Je nach Schalungshersteller gibt es unterschiedliche Elementgrößen, welche in Höhe und Breite zu Elementverbänden kombiniert werden können. Mehrere Rahmenelemente können so zu einer Großflächenschalung adaptiert werden, welche in einem Zug mit dem Kran versetzt wird. Hinsichtlich der Handhabung sind leichte (aus Aluminium-, Blech- oder Hohlprofilen) und schwere Rahmenschalungen (aus Stahl) zu unterscheiden. Schwere Rahmenschalungen können nur mit dem Kran bewegt werden, währenddessen die leichte Rahmenschalung manuell versetzt werden kann.<sup>97</sup>

Die Verbindung der Rahmenelemente untereinander erfolgt mit eigens dafür konzipierten Verbindungsmittel. Dabei werden die Rahmenelemente in einer Flucht ausgerichtet und zugleich zugfest miteinander verbunden. Die Stoßfugen der Rahmenelemente werden dadurch ebenfalls dicht gestoßen, damit kein Zementleim aus diesen austritt.



Abb. 3.7: Maximo Rahmenschalung [Peri]<sup>98</sup>

#### Trägerschalung

Trägerschalung (Abb. 3.8) besteht in der Regel aus einer selbsttragenden Schalhaut, welche auf dahinterliegenden Schalungsträgern aus Holzgitterträger, Stahlgitterträger oder Stahlfachwerk montiert ist. Entsprechend dem Frischbetondruck sind quer zu den

<sup>97</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S.273, 279.

<sup>98</sup> Fa. Peri: Rahmenschalung -

<https://www.peri.at/produkte/schalungssysteme/wandschalungen/maximo-wandschalung-fuer-schnelles-schalen.html>, Zugriff am 27.09.2020.

Schalungsträgern stählerne Gurtungen zwecks Aussteifung angebracht. Beliebige Schalhaut kann auf die Schalungsträger montiert werden. Der Versatz bei den Schalhautstößen ist minimal, weshalb sie für Sichtbetonflächen sehr gut geeignet ist. Verglichen mit der Rahmenschalung sind die Elemente großflächiger. Die Trägerschalung wird daher als Großflächenschalung eingesetzt.<sup>99</sup>

Generell ist die Trägerschalung für höhere Frischbetondrücke ausgelegt. Im Ingenieurbau, wie etwa im Tunnel-, Kraftwerks- und Brückenbau, ist diese Schalungsart weit verbreitet, da sie individuell an die statischen Gegebenheiten angepasst werden kann. Deren Marktanteil beträgt 50 % in der Bauwirtschaft.<sup>100</sup>



Abb. 3.8: Trägerschalung für Wände<sup>101</sup>

### 3.4.3 Deckenschalung

#### Trägerschalung

Die Trägerschalung für Deckensysteme ist ähnlich aufgebaut, wie die der Wandsysteme. Sie wird von vielen Herstellern als „Flexschalung“ bezeichnet, da sie individuell an die geometrischen und statischen Randbedingungen angepasst wird (Abb. 4.8 bis Abb. 4.11, Seite 70). Vor allem Passflächen und schwierig zu schalende Geometrien (Rundungen) werden nach wie vor auf diese Art und Weise geschalt. Diese Schalung besteht i.A. aus Schalhaut, Schalungsquerträgern, Schalungslängsträgern, Deckenstützen mit Haltekopf. Ein beispielhafter Aufbau ist in Abb. 4.8 bis Abb. 4.11 dargestellt und der Abbau solch einer Schalung ist in Abb. 4.12 bis Abb. 4.17 ab Seite 71 ersichtlich.

#### Schaltische

Deckenschaltische (Abb. 3.9) sind großflächige, kranabhängige Deckenschalungen. Sie bestehen aus der Schalhaut, welche auf den Schalhautquerträgern i.d.R. H20 oder H16

<sup>99</sup> Vgl. Schmitt: Die Schalungstechnik – Systeme, Einsatz und Logistik, 2001, S.566.

<sup>100</sup> Vgl. Hofstadler: Schalarbeiten, 2008, S.133.

<sup>101</sup> Fa. Delmon Scaffolding: Wandschalung - <http://uae.delmongroup.net/enkoform-v100/>, Zugriff am 27.09.2020.

Trägern montiert ist. Diese Träger leiten die Kräfte wiederum auf Längsträgern (=Jochträger), welche auf Stützen, Lasttürmen lagern. Sind keine Stützen vorhanden, dann wird von Schubladenschalungen gesprochen, wobei der Schaltisch auf Wandkonsolen aufliegt. Schalhaut, Quer- und Längsträger bilden eine Einheit, welche in einem Zug versetzt wird. Der Umsetzvorgang erfolgt mittels Kran mit einem 4-Seil-Gehänge oder mit einer Umsetzgabel (Abb. 3.9). Oft werden Schaltische mit starren Stützen verwendet. Die andere Möglichkeit besteht darin, Klappstützen zu verwenden, um über Hindernisse hinweg (z.B. Brüstungen) auszuweichen. Die Stützen können keine Horizontalkräfte aufnehmen, weshalb die Schaltische mit dem Bauwerk unverschieblich verankert werden müssen. Aus Transportgründen werden die Stützen erst auf der Baustelle an die Schaltische befestigt.<sup>102</sup>



Abb. 3.9: Deckenschaltisch und Umsetzgabel [Peri]<sup>103</sup>

#### Modulschalung

Die Modulschalung (Abb. 3.10 und Abb. 3.11) besteht aus unterschiedlich großen Paneelen aus rahmenartigen Aluminiumprofilen mit integrierter Schalhaut. Dieses System ist ähnlich der Rahmenschalung, welche bei Ortbetonwänden Anwendung findet. Die Paneele lagern entweder auf Kopflagern der Stützen auf (Element-Methode), oder sie werden in Aluminiumträger eingelegt (Fallkopf-Träger-Element-Methode). Um die Passbreiten so gering wie möglich zu halten, bieten die meisten Hersteller unterschiedliche Paneelgrößen an. Es handelt sich um eine kranunabhängige Schalung. Lediglich zwei Mann können die Schalung auf- und abbauen.<sup>104</sup>

**Fallkopf-Methode:** Diese Methode ermöglicht ein frühzeitiges Ausschalen. Die Hauptträger liegen auf einen Fallkopf auf, welcher beim Ausschalvorgang um ein gewisses Maß abgesenkt werden kann. Die Paneele samt Hauptträger senken sich ab, damit lassen sich diese Teile ausbauen und für den nächsten Betonierabschnitt einsetzen. Nur die Stützen

<sup>102</sup> Vgl. Grupp: Schalungsatlas: Schalungssysteme und Einsatz in der Praxis, 2009, S.126, 127.

<sup>103</sup> Fa. Peri: Deckenschaltisch -

<https://www.peri.at/produkte/schalungssysteme/deckenschalungen/umsetzgabel-fuer-umsetzen-von-deckentischen-mit-kran.html>, Zugriff am 27.09.2020.

<sup>104</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S.302, 303.

samt Fallköpfe bleiben als punktuelle Unterstellung erhalten, bis die Betonfestigkeit erreicht ist.

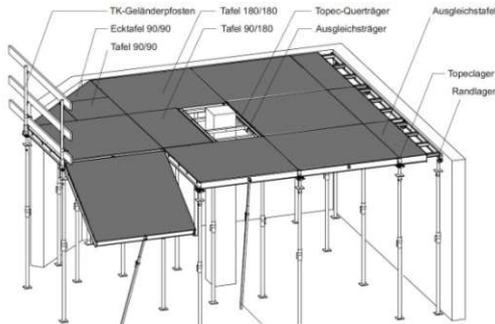


Abb. 3.10: Topec Deckenschalung [Hünnebeck]<sup>105</sup>



Abb. 3.11: Skydeck Deckenschalung [Peri]<sup>106</sup>

## 3.5 Arbeiten mit Beton

Im Abschnitt 2.4 ist der Werkstoff Beton beschrieben. In diesem Teil werden wichtige Themen im Umgang mit Beton erläutert. Themen, wie die Betoneinbringung, das Betonieren bei tiefen und hohen Temperaturen, der Verdichtungsprozess und die Nachbehandlung von Beton werden angeführt.

### 3.5.1 Betonförderung

Damit ist gemeint, dass der Beton vom Herstellungsort zum Einbauort transportiert (gefördert) wird. Beispielsweise wird dies durch einen Fahrmischer, Betonpumpe, Kran, Förderband etc. bewerkstelligt. Kombinationen dieser Förderungsmittel sind denkbar.

Die Frischbetoneigenschaften müssen mit den Förderungsmitteln abgestimmt sein, damit ein reibungsloses Fördern möglich ist. Die Wahl hängt von den baubetrieblichen Randbedingungen (z.B. Aufstellmöglichkeiten der Autobetonpumpe, Krankapazitäten, Förderhöhe, -weite, Konsistenz, einzubauender Betonmenge, Zeitplan etc.) ab. Pumpbeton etwa, muss pumpfähig sein. Das sind plastische Betone. Der Betonzusammensetzung (Kornaufbau, Kornform, Mehlkorngelast etc.) ist für die Betonförderung besonderes Augenmerk zu legen.<sup>107</sup>

Zu beachten ist, dass die Transportwege und -zeiten so kurz wie möglich gehalten werden. Der Beton muss – normgemäß innerhalb von 105 Minuten – ab Wasserzugabe im Betonmischwerk vollständig eingebaut und verdichtet sein, bevor das Erstarren einsetzt, sofern keine Verzögerer zum Einsatz gelangen. Die Verarbeitbarkeit von Beton ist von der Betonzusammensetzung und von der Witterung abhängig.<sup>108</sup>

<sup>105</sup> Hünnebeck: Topec Deckenschalung - Aufbau- und Verwendungsanleitung, März 2010, S.4.

<sup>106</sup> Fa. Peri: Deckenschalung -

<https://www.peri.at/produkte/schalungssysteme/deckenschalungen/skydeck-deckenschalung.html>, Zugriff am 27.09.2020.

<sup>107</sup> Zementmerkleinblatt B7 – Bereiten und Verarbeiten von Beton, Ausgabe 8/2013, S.3.

<sup>108</sup> Rohrdorfer – ÖNORM B4710-1 Broschüre, S.18; [www.rohrdorfer.at](http://www.rohrdorfer.at)

### 3.5.2 Einbringen und Verteilen von Beton

Einbringen von Beton kann über die Rutsche des Fahrmischers, mittels einer Autobetonpumpe, Kran und Betonkübel oder vom Förderband erfolgen.

Folgende Grundsätze sollten beim Betoneinbau beachtet werden:

- ◆ Beim Einbringen von Beton, unabhängig von der Einbringart, darf dessen freie Fallhöhe nicht über 1,5 m betragen, ansonsten besteht die Gefahr der Entmischung des Betons. Um die freie Fallhöhe, beispielsweise beim Betonieren von hohen Wänden und Stützen, zu reduzieren, werden Fall-, Schüttrohre (sog. Hosenrohre) und Schläuche verwendet.
- ◆ Eingbracht wird der Beton in Schichtstärken von 30 - 50 cm.
- ◆ Die Betoniergeschwindigkeit darf sich nicht negativ auf die Schalung auswirken (Schalungsdruck). Bei selbstverdichtendem Beton resultieren höhere Schalungsdrücke.
- ◆ Bei dichter Bewehrungsführung ist auf Einfüllöffnungen und Rüttelgassen Bedacht zu nehmen.
- ◆ Bei Sichtbeton ist der Betoniervorgang möglichst nicht zu unterbrechen.<sup>109</sup>

#### Betoneinbau mit dem Fahrmischer

Der Betoneinbau erfolgt direkt über die ausziehbare und schwenkbare Rutsche bzw. Kunststoffrohre vom Fahrmischer aus, sofern die zu betonierenden Bauteile mit dem Fahrmischer erreicht werden können. Jedoch ist die Reichweite der Rutschen begrenzt, weshalb diese Variante selten angewendet wird. Mit einem an einem Fahrmischer angebauten Förderband, wie in Abb. 3.12 ersichtlich, lässt sich die Reichweite auf bis zu 15 m vergrößern. Prallbleche, Fallrohre und Schütttrichter am oberen Ende der Umlenkrolle verhindern dabei ein Entmischen des Betons. Zu beachten ist in Abb. 3.12, dass die freie Fallhöhe von 1,5 m nicht überschritten wird.

#### Betoneinbau mit Kran und Kübel

Bei geringen Einbauleistungen bis 15 m<sup>3</sup>/h ist der Betoneinbau mittels Kran und Betonkübel (Abb. 3.13) eine wirtschaftliche Lösung. Diese Methode wird v.a. beim Betonieren von Stützen und dünnen Wänden angewandt. Die Größe der Betonkübel ist von der Krankapazität abhängig. Die Betonkübel weisen einen Nenninhalt von 100 bis 5.000 Liter auf, üblich sind jedoch 1.000 bis 1.500 Liter.<sup>110</sup> In Abb. 3.13 ist am Krankübel ein sog. Hosenrohr angebracht, welches die freie Fallhöhe des Betons begrenzt, damit sich dieser nicht entmischt.

<sup>109</sup> Vgl. Zementmerkblatt B 7 – Bereiten und Verarbeiten von Beton, Ausgabe 8/2013.

<sup>110</sup> Vgl. Schmitt: Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik, 2001, S. 21.



**Abb. 3.12: Betoneinbau mittels am Fahrmischer integrierten Förderband<sup>111</sup>**



**Abb. 3.13: Betoneinbau mit Kran und Kübel<sup>112</sup>**

#### **Betoneinbau mit (Auto-) Betonpumpen**

Mit Betonpumpen können große Betonmengen je Zeiteinheit gefördert und eingebaut werden und sind damit die leistungsstärksten Fördermittel. Es handelt sich um ein kontinuierliches Förderverfahren. Baubetrieblich wird der Kran dadurch entlastet, steht somit für den Transport von Schalung, Bewehrung und weiterer Baustoffe weiterhin zur Verfügung. Transportbeton in Kombination mit einer mobilen Autobetonpumpe mit ausklappbarem Verteilermast ist in Abb. 3.14 ersichtlich. Dies ist heutzutage das Standardverfahren der Betonförderung und des gleichzeitigen Betoneinbaus. Die Reichweiten der Ausleger reichen dabei bis zu 62 m. Ausleger samt Pumpe sind zusammen auf einen LKW-Fahrzeuggestell montiert. Die Stabilität des Fahrzeugs während des Pumpvorganges wird durch hydraulisch ausfahrbare Stützen gewährleistet, welche auf eine ausreichend tragfähige Stellfläche lasten. Nur bei größeren Flächenausdehnungen und Bauwerkshöhen werden stationäre Betonpumpen mit Förderleitungen und mitkletterndem Verteilermast eingesetzt.<sup>113</sup>

<sup>111</sup> Fa. Transportbetonwerk: Fahrmischer - <https://www.trans-beton.de/fuhrpark.htm>, Zugriff am 27.09.2020.

<sup>112</sup> Fa. Buildup: Krankübel - <https://ch.buildup.group/product/4bd85c4d-fd80-4ab9-b435-b67bf087606f/view>, Zugriff am 27.09.2020.

<sup>113</sup> Vgl. Zilch: Handbuch für Bauingenieure - Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, 2012, S.931.



Abb. 3.14: Betoneinbau mithilfe einer Autobetonpumpe<sup>114</sup>

#### Betonieren bei tiefen und hohen Temperaturen

Bei kühler Witterung verlangsamt sich der Hydrationsprozess, sodass die Festigkeitsentwicklung verzögert wird. Um den Gefrierpunkt herum kommt der Hydrationsprozess komplett zum Stillstand. Frischbeton darf nicht dem Frost ausgesetzt werden, da dadurch das Betongefüge nachhaltig zerstört werden kann. Beim Betonieren bei tiefen Temperaturen können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- ◆ Erhöhung des Zementgehaltes
- ◆ Verwendung von Zementen, die höhere Hydrationswärme freisetzen (32,5 R, 42,5 R, 52,5 R)
- ◆ Keine Zusatzstoffe als Zementersatz verwenden
- ◆ Verringern des Wasserbindemittelwertes
- ◆ Erwärmen des Anmachwassers
- ◆ Erwärmen der Gesteinskörnungen

Schalung und Bewehrung müssen schnee- und eisfrei sein. Auf gefrorenen Untergründen darf nicht betoniert werden. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass die Einbautemperatur nicht unterschritten wird. Förderleitungen (Pumpenschläuche, Kübel) und Schalung sollten gegebenenfalls gedämmt werden. Nach dem Einbau muss der Beton entsprechend nachbehandelt werden, um die Frischbetontemperatur aufrechtzuhalten (siehe Abschnitt 3.5.4).

Bei heißer Witterung ist aufgrund des Hydrationsprozess auf die erhöhte Wärmeentwicklung Rücksicht zu nehmen. Die Folge ist, dass der Beton schneller erstarrt

<sup>114</sup> Wikimapia: Autobetonpumpe - <http://wikimapia.org/19504553/de/Kernkraftwerk-Taishan#/photo/5901348>, Zugriff am 27.09.2020.

und die Verarbeitbarkeit abnimmt. Zudem wird die Frühfestigkeit schneller erreicht, wodurch die Rissgefahr an der Betonoberfläche zunimmt. Sollte die Betonage bei heißer Witterung erfolgen, so können folgende Methoden sinnvoll sein:

- ◆ Verwendung von langsam erhärtenden Zementen (N-Zemente, LH-Zemente – low heat, VLH-Zemente – very low heat)
- ◆ Verwendung von Zusatzmittel (Erstarrungsverzögerer)
- ◆ Kühlung des Anmachwassers
- ◆ Verwendung von Scherbeneis anstelle des Anmachwassers
- ◆ Kühlung der Gesteinskörnungen (in flüssigem Stickstoff oder Eis)
- ◆ Aufgeheizte Schalung und Bewehrung vor dem Einbau mit Wasser benetzen
- ◆ Nächstgelegenes Betonmischwerk wählen, aufgrund kurzer Transportwege
- ◆ Wartezeiten der Transportmischer vermeiden, gegebenenfalls diese vor direkter Sonneneinstrahlung schützen (schattige Plätze)
- ◆ Betonage bei kühleren Tagestemperaturen (in der Früh oder am Abend)<sup>115</sup>

#### 3.5.3 Verdichten von Beton

Beim Verdichtungsprozess entweicht die im Betongefüge eingeschlossene Luft größtenteils, sodass

- die gewünschte Festigkeit erreicht wird,
- die Dauerhaftigkeit (geringe Porosität) gewährleistet wird,
- porenarme Oberflächen daraus resultieren,
- der Korrosionsschutz der Stahleinlagen (dichte Umhüllung) ausreichend gegeben ist.

Der Verdichtungsprozess erfolgt unmittelbar nach bzw. während des Betoneinbaus. Dies ist ein wichtiger Vorgang, weshalb nur geschultes und zuverlässiges Personal hierfür herangezogen werden sollte. In den Eck- und Randbereichen der Schalung, bei Aussparungen, Einbauteilen, enger Bewehrungsführung, Arbeitsfugen etc. muss die Verdichtung möglichst sorgfältig durchgeführt werden, um die Gefahr der Nesterbildung vorzubeugen. Gut verdichteter Beton weist auf der Baustelle einen Luftgehalt von 1 - 2 Vol-% auf.

Je nachdem, welche Konsistenz der Beton aufweist, werden folgende Arten der Verdichtung unterschieden:

- Stochern, leichtes Rütteln bei sehr fließfähigem Beton,
- Innenrüttler, Schalungsklopfer oder -rüttler bei weichem Beton,
- Innenrüttler, Schalungsrüttler bei plastischem Beton,
- Oberflächenrüttler, Stampfer bei steifem Beton.<sup>116</sup>

---

<sup>115</sup> Vgl. Zementmerkblatt B 21 – Betonieren bei extremen Temperaturen, Ausgabe 12/2014.

<sup>116</sup> Vgl. Zementmerkblatt B 7 – Bereiten und Verarbeiten von Beton, Ausgabe 8/2013, S.5.

#### Innenrüttler / Rüttelflaschen

Innenrüttler werden v.a. bei der Ortbetonbauweise eingesetzt. Eine sich im Inneren der Rüttelflasche drehende Unwucht (Exzenter mit ca. 12.000 Umdrehungen je Minute) erzeugt Schwingungen, die sich unmittelbar im Wirkungsbereich der Rüttelflasche auf den Frischbeton übertragen. Die Scherfestigkeit des Frischbetons wird dadurch schlagartig herabgesetzt, der Beton wird „verflüssigt“. Die eingeschlossene Luft entweicht dadurch nach oben. Der Durchmesser des Wirkungsbereichs beträgt in etwa dem 10-fachen Durchmesser der Rüttelflasche. Für eine vollständige Verdichtung müssen die Wirkungsbereiche untereinander überlappen. Die Rüttelflasche ist möglichst rasch in den Beton einzuführen und langsam herauszuziehen. Wird die Rüttelflasche langsam eingeführt, so verdichtet sich bereits die oberste Betonschicht, sodass tiefer eingeschlossene Luft schwer oder gar nicht nach oben entweichen kann. Der Beton soll nicht zu wenig (führt zu Kiesnester) und nicht zu lange (führt zur Entmischung) gerüttelt werden.<sup>117</sup>

#### Außenrüttler / Schalungsrüttler

Außenrüttler (Abb. 3.15) kommen vorwiegend bei dünnen, kleinen, dicht bewehrten Bauteilen bzw. in unzugänglichen Bereichen, in Kombination mit Innenrüttlern zum Einsatz. Sie werden fest mit dem Schalungsrahmen verbunden und übertragen die Schwingungen von diesem weiter an den Frischbeton. Mit einer ganzen Serie von installierten Schalungsrüttlern ist es möglich, den gesamten Bauteil auf einen Schlag zu verdichten. Vor allem im Tunnelbau wird diese Verdichtungsart angewendet.



Abb. 3.15: Schalungsrüttler<sup>118</sup>



Abb. 3.16: Oberflächenrüttler<sup>119</sup>

#### Oberflächenrüttler

Abb. 3.16 zeigt einen Oberflächenrüttler (Rüttelbohle, Abziehbohle), welcher bei waagrechten oder mäßig geneigten Betonflächen eingesetzt wird. Der Rüttler überträgt Schwingungen direkt auf die Betonoberfläche. Die Tiefenwirkung ist begrenzt, weshalb diese Art der Verdichtung vorrangig für dünne Platten zum Einsatz gelangt (z.B. Betonfahrbahnen).

<sup>117</sup> Vgl. Schmitt: Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik, 2001, S. 24.

<sup>118</sup> Fa. Mooser Schwingungstechnik: Außenrüttler - <https://www.mooser.net/projekte-media/galerie-bauvorhaben/detail/generalsanierung-schleuse-kachlet>, Zugriff am 29.09.2020.

<sup>119</sup> Fa. Schlechtriem Beton- und Baumaschinentechnik: Oberflächenrüttler - <http://schlechtriem-betontechnik.de/aktuelles/>, Zugriff am 29.09.2020.

### Nachverdichtung

Durch Nachverdichten werden die Qualitätseigenschaften des Betons verbessert. Lufteinschlüsse unter Bewehrungsstäben, Aussparungen, Einbauteilen etc. entstehen durch Setzungen im Beton aufgrund z.B. raschem Betonieren von hohen Bauteilen. Diese können durch Nachverdichten endgültig beseitigt werden, jedoch nur dann, wenn sich der Beton beim Nachverdichten wieder plastisch verhält.<sup>120</sup>

### 3.5.4 Nachbehandlung

Dazu zählen Maßnahmen, die die Festigkeitsentwicklung und Dauerhaftigkeit ohne Rissbildung des jungen Betons gewährleisten. Diese Maßnahmen umfassen den Schutz vor zu raschem Austrocknen, zu starken Temperaturunterschieden zw. Betonkern und Betonoberfläche, Frost, Erschütterungen, und frühzeitiger Belastung.<sup>121</sup>

#### Nachbehandlung bei heißer Witterung

Bei Lufttemperaturen von über 28°C kann zu rasches Austrocknen der Betonoberfläche durch:

- Aufsprühen eines Verdunstungsschutzes (flüssige Nachbehandlungsmittel),
- Aufbringen von wasserspeichernden Abdeckungen,
- Besprühen der Oberfläche mit Wasser (kein kaltes Wasser, da Temperaturschock),
- Belassen in der Schalung (Stahlschalung gegen Erwärmung abdecken),
- Abdecken mit Kunststofffolien (PE-Folie) verhindert werden.

#### Nachbehandlung bei kühler Witterung

Wenn bei kühler Witterung betoniert wird, dann ist der eingebaute Beton über eine Temperatur von 5°C zu halten. In Abhängigkeit der Außentemperatur kann dies durch:

- Abdecken mit Dämmstoffen (Styropor, Strohmatte etc.)
- Einhausung und gegebenenfalls Beheizung erfolgen (v.a. bei feingliedrigen Bauteilen).<sup>122</sup>

---

<sup>120</sup>Vgl. Schmitt: Die Schalungstechnik - Systeme, Einsatz und Logistik, 2001, S. 26,27.

<sup>121</sup> Vgl. Zementmerkblatt B 8 – Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons, Ausgabe 4/2014, S.1.

<sup>122</sup> Fa. Pehofer: Informationsblatt zur Nachbehandlung von Beton - [https://www.pehofer.at/wp-content/uploads/2016/01/Nachbehandlung\\_Pehofer\\_2018.pdf](https://www.pehofer.at/wp-content/uploads/2016/01/Nachbehandlung_Pehofer_2018.pdf), Zugriff am 29.09.2020.

## 4 Gegenüberstellung von Betonfertigteilmontagebauweise und Ort betonbauweise

Im zweiten Abschnitt wurden grundlegende Themen der Fertigteilmontagebauweise und im dritten Abschnitt, die der Ort betonbauweise behandelt. In diesem Abschnitt werden relevante Themen miteinander verglichen und am Ende dieses Abschnitts erfolgt eine Gegenüberstellung der Fertigteilmontage- und Ort betonbauweise anhand ausgewählter Kriterien.

### 4.1 Planung

Bereits bei der Planung sollte auf die Fertigteilmontagebauweise größeres Augenmerk gelegt werden. Die Praxis zeigt i.d.R. jedoch ein anderes Bild. Es wird unabhängig von den Bauweisen (Ort betonbauweise, Fertigteilmontagebauweise,...) geplant. Grundsätzlich werden z.B. Stahlbetonarbeiten generell als Ort betonbaustellen geplant, daher werden die Randbedingungen der Fertigteilmontagebauweise schon von Beginn an außer Betracht gelassen. Sollte sich die ausführende Baufirma nach Vorlage der Ausführungsplanung doch für Fertigteile entscheiden, so muss die bereits vorhandene Planung umgeplant bzw. an das Fertigteilmontage-System angepasst werden, wodurch ein erhöhter Planungsaufwand entsteht, der zu Beginn der Planung hätte verhindert werden können. Bei einer mangelhaften Planung können unter Umständen keine Fertigteilmontage-Systeme mehr realisiert werden. Um teure Sonderlösungen zu vermeiden, sollte den standardisierten Typenelementen der Vorzug gegeben werden. Der Besteller ist verpflichtet, Informationen bzw. Randbedingungen für das Projekt bekanntzugeben, wie z.B. die Traglast und Reichweite des Krans, die Situation der Baustellenzufahrt, den Liefertermin etc. Das Bereitstellen von aktuellen Planungsgrundlagen und statischen Angaben zählen ebenfalls dazu.

#### 4.1.1 Elementdecke

Bei der Planung von Elementdecken sollten die nachfolgend angeführten Grundsätze, beachtet werden. Die Plattenbreite der Elemente beträgt je nach Hersteller 2,4 bis 3 m. Daher sollte der Grundriss idealerweise in der Breite auf die Elementbreiten abgestimmt sein. Sollte das nicht der Fall sein, dann entsteht eine „Passplatte“, das ist die letzte Platte, die nicht mehr die volle Breite hat. Die Passplatte wird mit zusätzlichen Kosten beaufschlagt, weil einerseits der seitliche Abschalger extra gesetzt werden muss und andererseits entsteht Schalungsverlust, also jene verbleibende Fläche, auf der unter Umständen keine Elementdecke produziert werden kann. Rechte Winkel in der Produktion sind Standard, daher sollten die Elemente ebenfalls einen rechten Winkel bilden. Bei Winkelabweichungen entstehen „schräge Kanten“, welche ebenfalls mit höheren Kosten verbunden sind, weil hier die Abschalungen gesondert platziert werden müssen.

Ob nun Einbauteile (z.B. Elektroboxen, Muffen für Wohnraumlüftung, Isokörbe,...) gleich in die Elementdecke eingebaut werden, wird wohl eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung mit sich bringen. Die Einbauteile können vom Besteller (Auftraggeber) selbst ins Werk beigelegt werden, oder der Fertigteilmontagehersteller bestellt diese. Verrechnung der Einbauteile erfolgt i.d.R. nach einzubauender Stückzahl.

Es spricht aber nichts dagegen, anstelle der Einbauteile, Deckenaussparungen vorzusehen, um in diese dann auf der Baustelle die Einbauteile zu platzieren. Den Deckendurchbrüchen ist anzumerken, dass deren Kosten von der Größe des Auslasses abhängig sind. Große runde Aussparungen werden mehrfach polygonal dem Kreis angenähert, wodurch diese dann teurer werden, als gleichgroße quadratische. Die Lage des Deckendurchbruches spielt bei den Kosten eine Rolle, nämlich, wenn dieser in der Plattenstoßfuge zweier benachbarter Elemente zu liegen kommt. Dann werden zwei Deckenaussparungen in Rechnung gestellt, weil diese für beide Platten separat hergestellt werden müssen, obwohl es sich dabei geometrisch nur um eine Aussparung handelt. Wenn eine Verschiebung der Aussparung von der Plattenfuge möglich ist, dann sollte sie verschoben werden. Einige Deckenhersteller bieten schon einen Pauschalpreis pro Quadratmeter Deckenfläche an, bei der der Aufpreis für schräge Abschalungen, Passplatten, Anzahl der eingebauten Standardelektrodosen, Aussparungen etc. schon im Pauschalpreis inbegriffen ist.

In Abb. 4.1 sind grundsätzlich die wichtigsten Informationen betreffend der Elementdecke enthalten. Diese setzen sich zusammen aus der Plattennummer (Positionsnummer), den Plattenabmessungen (Länge, Breite), dem Gewicht der Platte, Auflager auf dem Mauerwerk mit Eisenüberstand, der Lage und Größe der Deckendurchbrüche, Einbauteile, der eingebauten Längs- und Querbewehrung inklusive Bewehrungszulagen in den Platten.

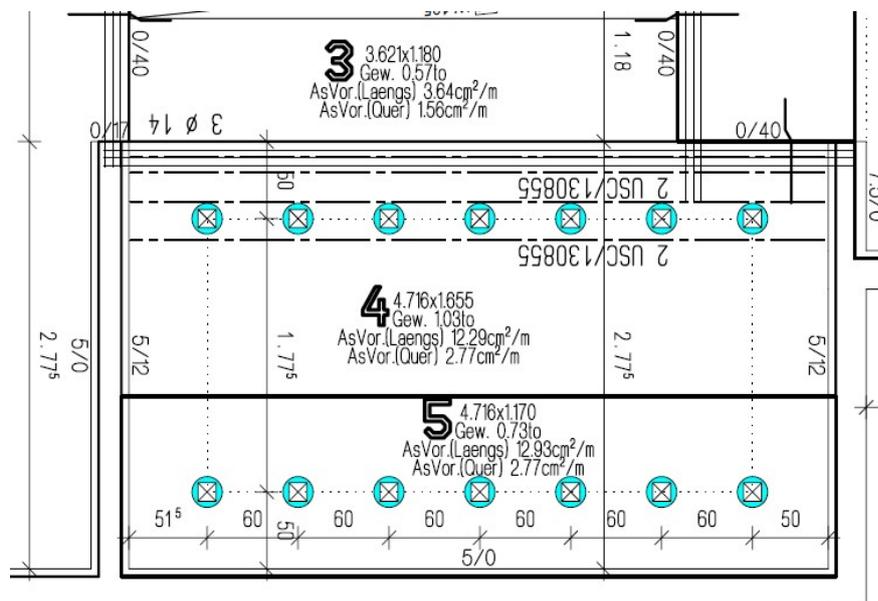


Abb. 4.1: Werkzeichnung einer Elementdecke<sup>123</sup>

<sup>123</sup> Ausschnitt aus einem Plan, Fa. Oberndorfer.

### 4.1.2 Hohlwand

Bei der Planung von Hohlwänden ist es ratsam, ebenfalls die herstellerspezifischen Randbedingungen zu beachten. Es ist kein Systemraster erforderlich, da nahezu beliebige Wandgeometrien in Breite und Höhe hergestellt werden können. Rechteckige Wandgeometrien, wie schräge Wände, wie z.B. Giebelwände, können durch die vollautomatische Produktion hergestellt werden. Die Elemente sind üblicherweise geschoßhoch und haben eine Länge bis zu 12 m und weisen eine Stärke von 18 – 50 cm auf. Die erforderliche Länge des Elements resultiert i.A. aus dem max. Elementgewicht, die der Kran im Montagezustand zu versetzen hat. Beispielsweise hat eine 40 cm starke Hohlwand bei 5 cm dicken Schalenstärken ein Flächengewicht von ca. 250 kg/m<sup>2</sup>.<sup>124</sup>

Bei der Planung von Hohlwänden sollten alle für die Wand betreffenden Angaben schon im Vorfeld durch die Projektbeteiligten (Installateur, Elektriker,...) wie etwa die Lage und Größe der Wanddurchbrüche, Fenstern, Türen, Lage der Schaltdosen und sonstige relevante Informationen bereitgestellt werden, da nachträgliche Änderungen (z.B. Bohr-, Stemmarbeiten) an Hohlwänden sehr zeitintensiv sind. Werkseitig können bei Bedarf eine Fülle von Einbauteilen in die Hohlwand vorgesehen werden. Elektroboxen, Elektro-Leerrohre, Rohrdurchführungssysteme RDS, Türzargen, Fensterzargen, Fenster bei Kellerwänden, etc. sind einige Beispiele, welche realisiert werden. Die Hohlwand kann bei Bedarf bereits werkseitig innen oder außen gedämmt angeliefert werden. Im ersten Fall handelt es sich dabei um sogenannte kerngedämmte Hohlwände. Änderungen kurz vor der Auslieferung sollten vermieden werden, da diese mit höheren Kosten verbunden sind, ein Nachteil, insbesondere, wenn es sich dabei um komplexe Bauprojekte handelt.

In Abb. 4.2 sind grundsätzlich die wichtigsten Informationen betreffend der Hohlwand enthalten. Es handelt sich dabei um die Elementnummer (Positionsnummer), den Elementabmessungen (Länge, Breite, Dicke), dem Elementgewicht, der Lage und Größe der Wanddurchbrüche, Lage der Einbauteile, Wandansichten in 2D und 3D, dem eingebauten Bewehrungsnetz etc.

---

<sup>124</sup> Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB) und Vereinigung Österreichischer Zementindustrie (VÖZ) - [http://www.wohnbeton.at/Seiten/wohnbauelemente/02\\_kellerwaende/02\\_5\\_hohlwaende.asp](http://www.wohnbeton.at/Seiten/wohnbauelemente/02_kellerwaende/02_5_hohlwaende.asp), Zugriff am 29.09.2020.

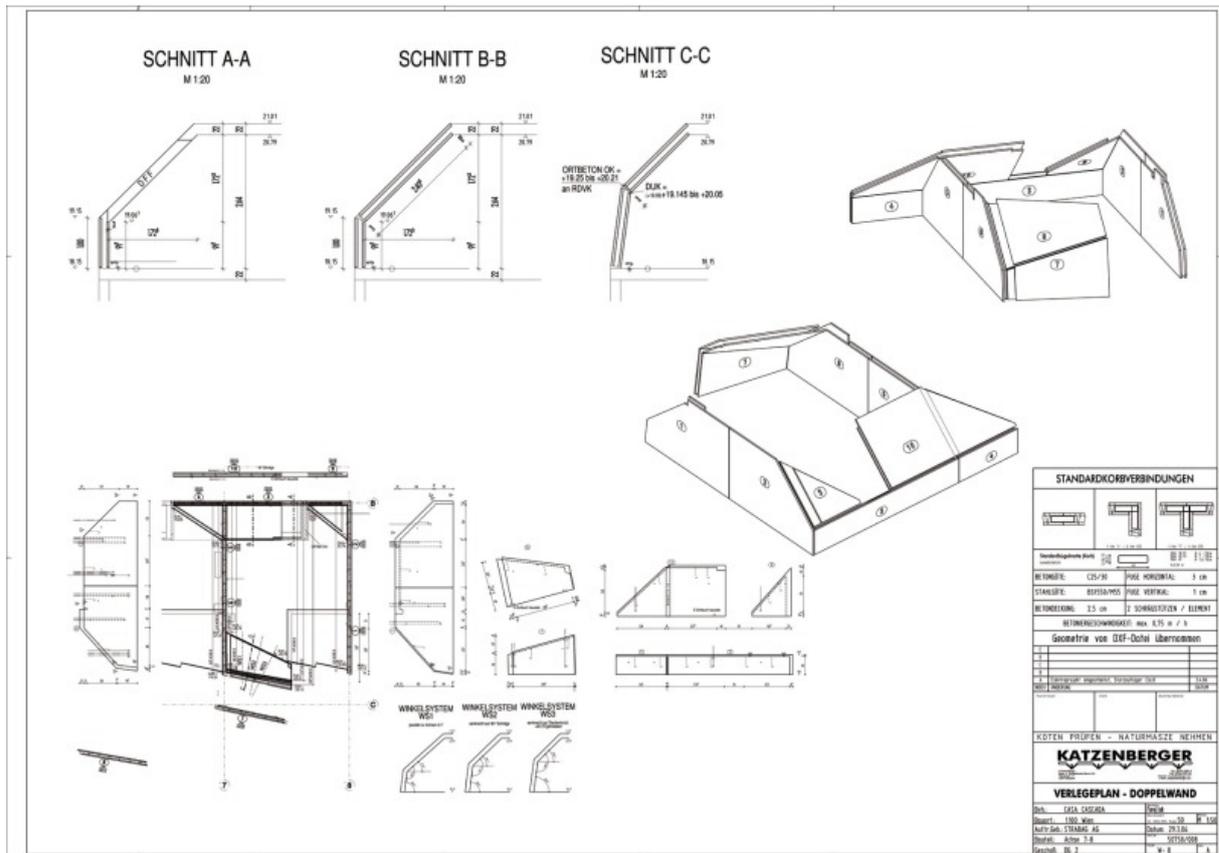


Abb. 4.2: Werkszeichnung einer Hohlwand<sup>125</sup>

### 4.1.3 Ortbetonbauweise

Die Ortbetonbauweise gewinnt dort an Bedeutung, wo die Herstellungsgrenzen der Fertigteilbauweise überschritten werden. Zum Beispiel sind abgerundete Wände und Decken mit der Ortbetonbauweise wirtschaftlicher zu vertreten, als mit der Fertigteilbauweise. Es ist aber ein Einsatz von Sonderschalungen denkbar, welche aber tendenziell zu höheren Kosten führen. Dies ist bei der Planung zu berücksichtigen. Ein weiterer Aspekt besteht darin, dass eine beliebige Menge an Bewehrung für die Ortbetonbauweise zur Ausführung kommen kann (vor allem große Stabstahldurchmesser), während bei Elementdecken und Hohlwänden diese in Abhängigkeit der Produktionsanlage mit z.B.  $\max. d \ 14 / 5$ <sup>126</sup> (ohne Zulagen) begrenzt ist. Die Ortbetonbauweise bietet somit die maximale Flexibilität hinsichtlich der Bewehrung. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass bei der Ausführung in Ortbeton die Schnittstellenproblematik nicht nachteilig beeinflusst wird. Nutzerspezifische Änderungen können kurz vor Betonage ohne höhere Mehrkosten durchgeführt werden. Einbauteile lassen sich in Wand und Decke vor Ort integrieren, welche bei der Fertigteilbauweise nicht einbaufähig sind.

<sup>125</sup> Fa. Bauverlag BV: Hohlwandplanung - [http://www.bft-international.com/de/artikel/artikel\\_325221.html](http://www.bft-international.com/de/artikel/artikel_325221.html), Zugriff am 29.09.2020.

<sup>126</sup> Stabstahl mit 14 mm Durchmesser im Abstand von 5 cm.

### 4.2 Produktion

Die Decken- und Wandelemente können über das gesamte Jahr hinweg in einer witterungsgeschützten Werkstätte produziert werden (siehe dazu Abschnitt 2.6.2 und Abschnitt 2.7.2). Die stationäre Fertigteilmontage ist somit witterungsunabhängig. Es lässt sich somit dennoch ein Teil des auszuführenden Projekts über die Wintermonate produzieren. Eine Bauweise gänzlich in Ortbeton wird maßgeblich von der Witterung beeinflusst. Unter Umständen ist das Weiterbauen an kalten Wetterlagen wirtschaftlich oder technisch nicht mehr sinnvoll. Es sind besondere Vorkehrungen zu treffen, damit ein Weiterbauen möglich ist. Bei tiefen Temperaturen verlängern sich Ausschulfristen und Nachbehandlungsfristen, dies schlägt sich unmittelbar nachteilig auf den Fertigstellungstermin aus.<sup>127</sup>

### 4.3 Logistik - Transport und Lagerung

#### Transport

Die Decken- und Wandelemente werden meist über die Straße transportiert, ein Transport mit der Bahn oder mit dem Schiff stellt eher den Ausnahmefall dar. Die Elemente sind so zu lagern und zu sichern, dass während der Fahrt keine Lageänderung, wie Schwanken, Umfallen, Verschieben, Herabfallen oder Beschädigung auftritt. Die Stabilität des Fahrzeuges darf bei einseitiger Beladung nicht beeinträchtigt sein. Zulässige Achslasten und Mindestlasten für Lenk- und Antriebsachsen müssen beachtet werden.<sup>128</sup>

Der Transport kann entweder durch den Besteller erfolgen (= Selbstabholung), oder der Fertigteilmontagehersteller ist zugleich der Lieferant, was i.d.R. der Fall ist, welcher sich für die Transportbelange zu kümmern hat. Im ersten Fall sind Transportgenehmigungen (z.B. bei Sondertransporten) frühzeitig zu beantragen, da der Genehmigungsprozess eine gewisse Zeit beansprucht (zusätzlicher Aufwand für Besteller). Die Transportkosten spielen bei der Fertigteilmontage eine nicht unbedeutende Rolle. Diese Kosten lassen sich jedoch mit einer optimalen Planung auf ein Minimum begrenzen.

#### Lagerung<sup>129</sup>

Aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen sollte angestrebt werden, dass keine Zwischenlagerung der Fertigteile auf der Baustelle stattfindet, sondern direkt vom Transportfahrzeug aus die Montage erfolgt. Fertigteile benötigen sehr viel Platz. Es muss also eine größere ebene befestigte Fläche vorgehalten werden. Lagerflächen müssen entsprechend befestigt werden, da es sich um schwere Fahrzeuge und Bauteile handelt. Ein weiterer Grund ist die Stapelreihenfolge. Beim Abladen der Deckenelemente werden diese zwangsläufig umgestapelt. Schmale, kurze Deckenelemente (z.B. Passplatten), welche bei

<sup>127</sup> [www.bauwetter24.de](http://www.bauwetter24.de): Bauen im Winter - <http://bauwetter24.de/pdf/BauenimWinter.pdf>, Zugriff am 05.06.2017.

<sup>128</sup> FDB-Merkblatt Nr. 9: Ladungssicherung von konstruktiven Betonfertigteilen (09/2010).

<sup>129</sup> Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilmontagewerke (VÖB) und Vereinigung Österreichischer Zementindustrie (VÖZ) -

[http://www.wohnbeton.at/Seiten/wohnbaulemente/03\\_decken/03\\_2\\_halfmontagedecken.asp](http://www.wohnbeton.at/Seiten/wohnbaulemente/03_decken/03_2_halfmontagedecken.asp), Zugriff am 29.09.2020.

der Anlieferung (aus Transportgründen) ganz oben auf größere, breitere Deckenelemente gestapelt worden sind, müssen auf die Seite gelegt werden. Es müssen also die Deckenelemente mehrmals „abgegriffen“ werden, welches nachteilig für den Bauablauf ist. Sollte dennoch eine Lagerung vor Ort vorgesehen werden, dann ist sinngemäß nach Abb. 4.3 zu verfahren, das heißt, dass der Stapel nicht direkt auf den Untergrund, sondern auf Kanthölzer aufliegt. Diese Kanthölzer liegen zum Plattenrand in einem Abstand von ca. 1/5 der Plattenlänge, bei langen Platten über 5 m werden zusätzlich zwei Kanthölzer gleichmäßig aufgeteilt.



**Abb. 4.3: Lagerung Elementdecke auf der Baustelle<sup>130</sup>**

Die Lagerung von Hohlwandelementen auf der Baustelle ist weniger problematisch, da sie in Lieferboxen angeliefert werden und diese auf eine ebene horizontale Stellfläche gestellt werden. Auf die Kippsicherheit ist jedenfalls zu achten, insbesondere dann, wenn ein Hohlwandelement aus der Lieferbox entnommen wird, denn die restlichen Hohlwandelemente müssen samt der Box noch sicher stehen. Eine beispielhafte Lagerung auf der Baustelle kann wie in Abb. 4.4 erfolgen.



**Abb. 4.4: Lagerung Hohlwand auf der Baustelle<sup>131</sup>**

<sup>130</sup> Fa. Heise RegioConcept: <http://www.wohnet.at/bauen/bauvorbereitung/betondecke-fertigteil-17597>, Zugriff am 29.09.2020.

## 4.4 Bauablauf

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Arbeitsschritte (Teilvorgänge) der Bauabläufe von Fertigteilen und Ortbeton, jeweils getrennt für Stahlbetondecken und Stahlbetonwände tabellarisch dargestellt. In Abb. 4.5 sind die Arbeitsschritte für die Herstellung der Stahlbetonarbeiten angeführt. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Arbeiten mit der Schalung, Bewehrung und Beton.



Abb. 4.5: Arbeitsprozesse von STB-Arbeiten<sup>132</sup>

### 4.4.1 Elementdecke

Ein beispielhafter Bauablauf einer Elementdecke wird nun in Tab. 9 angeführt. Im Anschluss dazu wird der Montageablauf der Elementdecke beschrieben, sowie erforderliches Personal und die notwendigen Geräte angeführt.

Nr.	Teilvorgang
1	Deckenaufleger vorbereiten in Form von Mauerabschluss mittels Mörtelbett bei Mauerziegeln.
2	Anzeichnen der Plattenkontur der Deckenelemente lt. Verlegeplan auf das Deckenaufleger.
3	Herstellung der Unterstellung mittels Schalungsträgern und Deckenstehern i.A. im 1,5 m Raster bzw. lt. statischen Erfordernissen (Abb. 4.8, Abb. 4.9).
4	Verlegung der Elementdeckenplatten lt. Montageplan (Abb. 4.7).
5	Absturzsicherung am Deckenrand vorsehen.
5	Aussparungskörper herstellen und diese in Aussparungen der Elementplatten befestigen.
6	Einstellen der Überhöhung lt. Statik.

<sup>131</sup> [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org): Hohlwand - [https://de.wikipedia.org/wiki/Dreifachwand#/media/File:Betonhalbfertigteil\\_Hohlwandelemente.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Dreifachwand#/media/File:Betonhalbfertigteil_Hohlwandelemente.jpg), Zugriff am 29.09.2020.

<sup>132</sup> Vgl. K. Bisani: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skript zur Vorlesung, Stand: 14.11.2006, S. 7.

7	Vertikale Abschalung für Deckenrand (Rostabschalung) herstellen.
8	Arbeiten für Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär + Elektro (Einlegearbeiten, Stemm-, Bohrarbeiten, etc.) durchführen.
9	Durchführend der Bewehrungsarbeiten. Bewehrungsarbeiten: - Zulagen auf Platte legen - Fugenbewehrung und/oder 2.Lage Bewehrung auf Platte legen - Obere Bewehrung - Rost-, Kappbewehrung - Trägerbewehrung in Deckenbereichen (Unter-, Überzug) - Sonderbewehrung (z.B. Durchstanzbewehrung) - Bewehrung in Ortbetonbereichen
10	Reinigung bei verschmutzter Oberfläche der Elementplatten und Vornässen vor Betonage.
11	Betonieren, Verdichten und Herstellen der Oberfläche des Aufbetons, Nachbehandlung. Maßnahmen bei tiefen und hohen Temperaturen einleiten.
12	Rückbau der Unterstellung nach ausreichender Tragfähigkeit („Ausschalen“).
13	Spachtelung der Stoßfugen mit rissüberbrückender Gewebeeinlage und vollflächige Spachtelung der Deckenunterseite.
14	Deckenuntersicht wird vollflächig gemalt.

Tab. 9: beispielhafter Bauablauf bei einer Elementdecke

**Montageablauf:** Die Elementdeckenplatten werden i.A. mit dem Baustellenkran mithilfe eines Ausgleichsgehänges vom Transportfahrzeug abgehoben und in einem Zug versetzt. Die Abhebepunkte sind etwa 1/5 der Plattenlänge vom Plattenrand entfernt. Der Haken muss den Obergurt und die Diagonalen umschließen, so wie in Abb. 4.6 – links, ansonsten besteht die Gefahr, dass der Obergurt nacheinander aufreißt und die zu versetzende Platte herabfällt. Zu beachten ist unbedingt, dass der Winkel zwischen Elementdecke und dem Gehänge nicht unter 60° fallen darf (Abb. 4.6 - rechts). Lange Platten müssen mit mind. sechs Haken angehängt werden.

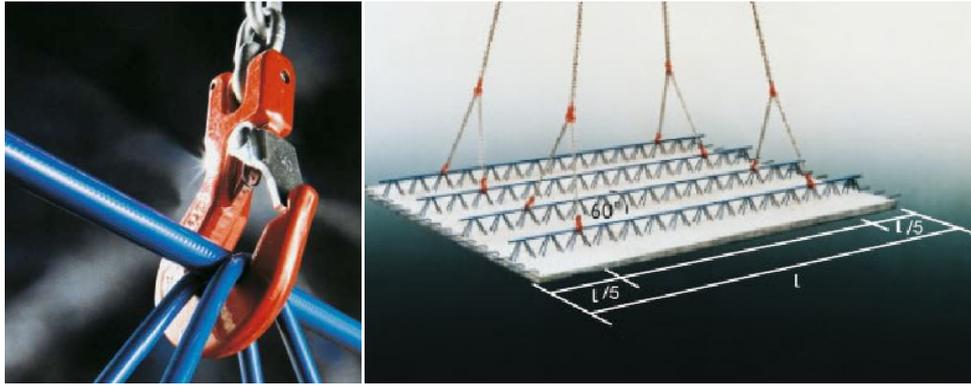


Abb. 4.6: Abhebeknoten, Gehänge und Abhebepunkt<sup>133</sup>

Abb. 4.7 zeigt die Lagerung der Elemente auf Unterstellungen. Am Endauflager wird i.d.R. 5 cm aufgelegt. Sollte das Deckenaufleger am Rand unter 5 cm fallen, dann ist eine Montageunterstützung am Rand (Randunterstützung) erforderlich. Dies ist in Abb. 2.6 - rechts dargestellt.



Abb. 4.7: Versetzen einer Elementdecke<sup>134</sup>

Für die Herstellung einer Elementdecke sind unter anderem folgendes Personal und folgende Gerätschaften notwendig:<sup>135</sup>

**Personal:** Montagetrupp, bestehend aus drei Personen, welche mit dem Umgang mit Fertigteilen vertraut sind (geschultes und eingewiesenes Personal). Eine Person ist zuständig für das Anschlagen der Elemente, welche sich i.d.R. aufgestapelt auf dem Transportfahrzeug befinden. Weitere zwei Personen sind für den Verlegevorgang zuständig, also für das lagemäßige Einrichten der Elemente. Eventuell kann eine weitere Person als Kraneinweiser fungieren.

<sup>133</sup> Fa. Syspro: Montageanleitung für Doppel- und Thermowände inkl. Verlegeanleitung für Elementdecken, Ausgabe Februar 2009, S.1, 33 - [https://www.beton-kemmler.de/wp-content/uploads/Syspro\\_Montage\\_Verlegeanleitung.pdf](https://www.beton-kemmler.de/wp-content/uploads/Syspro_Montage_Verlegeanleitung.pdf), Zugriff am 29.09.2020.

<sup>134</sup> www.bauforum 24.biz - <https://www.bauforum24.biz/forums/topic/38505-westfalentower-dortmund/>, Zugriff am 29.09.2020.

<sup>135</sup> lt. VÖB – Richtlinie Verlegeanleitung für Elementdecken.

**Geräte:** Beim Einsatz der Elementdecke auf der Baustelle ist ein Hebezeug in Form von Hochbaukran, Mobilkran, Heckkran etc. notwendig. Für das Anschlagen der Elemente und dem anschließenden Versetzvorgang sind entsprechend lange Ketten mit einem Sicherheitshaken notwendig. Weiteres Werkzeug wie Schaleisen, Hammer und Rollmaßstab sollte i.d.R. auf Baustellen stets vorhanden sein.

#### 4.4.2 Ortbetondecke

In Tab. 10 wird der Arbeitsablauf einer Massivdecke beschrieben, die durch eine konventionelle Schalung, bestehend aus H-Trägern und Schalhaut, hergestellt wird.

Nr.	Teilvorgang
1	Stützenstative (3-Bein) und Deckenstützen mit Halteköpfen lt. stat. Erfordernissen im Raster auf gereinigter Auflagerfläche aufstellen ( ).
2	Längsträger (= Jochträger) in erforderlicher Höhe in Halteköpfen (eventuell mit Fallkopf) auflegen (Abb. 4.8).
3	Zusätzlich Zwischenstützen entlang der Längsträger aufstellen (Abb. 4.9).
4	Querträger auf den Längsträgern auflagern (Abb. 4.10).
5	Schaltafeln auf den Querträgern montieren und diese anheften, bei den Randbereichen die Schaltafeln an die Geometrie anpassen (Abb. 4.11).
6	Vertikale Abschalung für Deckenrand (Rostabschalung) herstellen.
7	Absturzsicherung am Deckenrand befestigen.
8	Aussparungskörper einmessen und herstellen, auf Deckenschalung befestigen.
9	Arbeiten für Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär und Elektro durchführen (Einlegearbeiten).
10	Abstandhalter platzieren.
11	Schalung mit Betontrennmittel versehen (Schalöl aufsprühen).
12	Durchführend der Bewehrungsarbeiten. Bewehrungsarbeiten: - Untere Bewehrungslage (1-achsig, 2-achsig) - Zulagebewehrung - Obere Bewehrungslage - Distanzstreifen - Rost-, Kappbewehrung - Bewehrung zu Anschlussbauteilen (Unterzug, Überzug, Stütze...) - Sonderbewehrung (z.B. Durchstanzbewehrung), etc.
13	Betonieren, Verdichten und Herstellen der Oberfläche, Nachbehandlung. Maßnahmen bei tiefen und hohen Temperaturen einleiten.
14	Deckenrandabschalung abbauen. Ausschalen, indem die Zwischenstützen entspannt und

	entfernt werden (Abb. 4.12).
15	Deckenschalung absenken (eventuell mit Fallkopf - Abb. 4.13).
16	Schalttafeln, Quer- und Längsträger abbauen, Deckenstützen entfernen (Abb. 4.15 bis Abb. 4.17). Eventuell Notunterstellung lt. Statik belassen.
17	Reinigung der Schalungsteile und Schlichtung in die Lieferboxen.
18	Betonnachbearbeitung an sichtbare Betonflächen (Grate entfernen, Betonnester sanieren, Versätze bei Schalungsstößen sanieren etc.)
19	Spachtelung bzw. Verputzen der Deckenunterseite.
20	Deckenuntersicht wird vollflächig gemalt.

**Tab. 10: beispielhafter Bauablauf bei einer Ortbetondecke**<sup>136</sup>

Schalungsarbeiten sind aufwendige Tätigkeiten und damit sehr lohnintensiv. Daher wird beispielhaft der Einschalvorgang einer Ortbetondecke ab Abb. 4.8 bis Abb. 4.11 aufgezeigt.



**Abb. 4.8: Einschalen Ortbetondecke (1)**<sup>137</sup>



**Abb. 4.9: Einschalen Ortbetondecke (2)**



**Abb. 4.10: Einschalen Ortbetondecke (3)**



**Abb. 4.11: Einschalen Ortbetondecke (4)**

<sup>136</sup> Vgl. K. Bisani: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skript zur Vorlesung, Stand: 14.11.2006, S. 77, 78.

<sup>137</sup> Vgl. K. Bisani: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skript zur Vorlesung, Stand: 14.11.2006, S. 77.

Die Fußnote Nr. 137 ist zugleich der Quellennachweis für , Abb. 4.10, Abb. 4.11.

Abb. 4.12 bis Abb. 4.17 zeigen den Ausschalvorgang einer Ortbetondecke. In Tab. 10 werden die einzelnen Herstellungsschritte einer Ortbetondecke ausführlich beschrieben.



Abb. 4.12: Ausschalvorgang (1)<sup>138</sup>



Abb. 4.13: Ausschalvorgang (2)



Abb. 4.14: Ausschalvorgang (3)



Abb. 4.15: Ausschalvorgang (4)



Abb. 4.16: Ausschalvorgang (5)



Abb. 4.17: Ausschalvorgang (6)

**Personal:** Bei der Ortbetonbauweise ist ein erhöhter Personalbedarf beim Schalen, Bewehren und Betonieren notwendig (z.B. eine Schalungs-, Betonierkolonne, Eisenbinder aus je drei bis vier Mann, abhängig von der zu schalenden Fläche und der Bewehrungsmenge). Das Personal ist in erster Linie abhängig vom Fertigungsabschnitt.

**Geräte:** Durch die Zunahme dieses gewerblichen Personals (für Schalungsarbeiten, Bewehrungsarbeiten) auf der Baustelle kann ein zweiter Kran notwendig werden, da ein Kran (Turmdrehkran) üblicherweise ca. 15 Mann bedienen kann. Ein sicherer Standplatz ist dafür notwendig. Ebenfalls ist auf Lagerflächen für Bewehrung (Richt-, Biegeplatz) und Schalung Bedacht zu nehmen. Dieser Sachverhalt gilt analog für Ortbetonwände.

<sup>138</sup> Vgl.: K. Bisani: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skript zur Vorlesung, Stand: 14.11.2006, S. 78, 79  
Die Fußnote Nr. 138 ist zugleich der Quellennachweis für Abb. 4.13 bis Abb. 4.17.

### 4.4.3 Hohlwand

Die VÖB hat für die Montage der Hohlwände eine Richtlinie diesbezüglich herausgegeben. In Anlehnung an dieser Richtlinie wird in Tab. 11 der Montageablauf beim Einsatz einer Hohlwand beschrieben.

Nr.	Teilvorgang
-	Maximale Höhentoleranz auf der zu versetzenden Hohlwand (Fundamentplatte, Streifenfundament, Geschoßdecke,...) beträgt $\pm 1\text{cm}$ .
-	Ein Untergrund für die Verdübelung der Schrägstützen muss jedenfalls geschaffen werden, sofern keine Bodenplatte vorhanden ist (Hilfsfundamente).
-	Für einen ungehinderten Versetzvorgang sollen die Anschlusseisen idealerweise in einer Flucht verlaufen. Steckeisenendhacken sollen zur Wandmitte hin ausgerichtet werden, noch besser ist die Verwendung von Abdeckleisten oder Schutzkappen.
1	Ausnivellierung des höchsten Punktes auf der zu versetzenden Fläche.
2	Anzeichnen der Wandgeometrie bestehend aus Wandstärke, Wanddurchbrüche, Türen, Elementfugen, Ortbetonbereiche etc. auf der zu versetzenden Fläche (mit der Schlagschnur).
3	Platzieren der verschiedenen starken Unterlagsscheiben vom höchsten Punkt aus. Pro Hohlwandelement werden mindestens vier Unterlagsscheiben verwendet. Dicke der Scheibe entspricht der Bodenfuge.
4	Hohlwandelemente mit den entsprechenden Lastaufnahmeeinrichtungen (genügend lange Ketten) an den dafür vorgesehenen Anschlagmitteln (z.B. werkseits eingebaute Versetzschlaufen) auf den Unterlagsscheiben und angezeichneten Riss stellen. Hohe Hohlwandelemente werden aus Transportgründen liegend angeliefert. Sie müssen daher beim Versetzvorgang „aufgedreht“ werden. Dies geschieht entweder mit einem zweiten Kran oder mit einem Kran, welcher über zwei Hubwerke (mit Umlenkrollen) verfügt.
5	Anschließende Sicherung des Elementes gegen Kippen durch Schrägstützen, welche mit der Bodenplatte und mit dem Hohlwandelement durch Dübel-Schraube verbunden sind. - Fixierung der Wandelemente mit den Schrägstützen mittels Schrauben, welche im bereits werkseitig eingebauten Dübeln (Quicky) hineingeschraubt werden. - Bohrloch in die Bodenplatte bohren, in welchem ein Dübel platziert wird. - Fixierung der Schrägstützen mittels Schrauben (oder Schlaganker) an der Bodenplatte. Erst nachdem das Hohlwandelement gesichert ist, darf der Sicherheitshaken gelöst werden.
6	Abschalung der horizontalen Bodenfuge (z.B. mit Kantholz).
7	Schließen der Montagefugen (Stoßfugen) mit einem geeigneten PU-Schaum.

8	Zuschalen und Bewehren möglicher Ortbetonbereiche.
9	Einbauten für Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär (z.B. RDS) und Elektroinstallation, wenn möglich, bereits in den Hohlwandelementen vorab werkseitig einbauen lassen.
10	Aussteifen der Innen- und Außenecken (z.B. mit Stahlwinkel; dazu sind Bohrlöcher, Dübel, Schrauben notwendig).
11	Aussteifen größerer Wanddurchbrüche (mit Kantholz) wie Türen, Fenster, etc. Verlorene Holzschalungen („Bretterschalung“) sind bereits werkseitig in den Wandelementen verbaut.
12	Betonage unter Berücksichtigung der Betonierabschnitte und max. Betoniergeschwindigkeit von einem Höhenmeter pro Stunde, Verdichtung, Nachbehandlung. Maßnahmen bei tiefen und hohen Temperaturen einleiten.
13	Lagekontrolle der Hohlwandelemente nach der Betonage, gegebenenfalls nachjustieren.
14	Nach ausreichender Standfestigkeit des Betons, Demontage der Schrägsteher, Reinigung dieser und Schlichtung in die Box.
15	Ausschalen der Wandaussparungen, Reinigung und Entfernen der Zementschlämme.
16	Beseitigung des PU-Schaums von den horizontalen und vertikalen Fugen.
17	Montagedübel (Quicky) von den Elementen entfernen und Spachtelung der Löcher.
18	Elementfugen mit dauerelastischem Kitt verfugen.
19	Sichtbare Wandflächen werden gespachtelt oder gemalt, wobei die Wandoberfläche i.A. porenarm ist.

Tab. 11: beispielhafter Bauablauf beim Einsatz einer Hohlwand

**Personal:** Ein hinsichtlich für Fertigteil eingeschultes Personal aus vier Mann sind nach VÖB für den Bauablauf notwendig. Ein Mann fungiert als Vorarbeiter, der zweite Mann ist am Element, der dritte Mann ist zuständig für die Arbeitsvorbereitung und der vierte für das Anschlagen der Elemente, welche sich in der angelieferten Transportbox befinden.

**Geräte:** Für Vermessungsarbeiten im Vorfeld sind Nivellierstativ, -gerät und -latte notwendig. Für das Bohren und Setzen von Dübel und Schrauben findet die Schlagbohrmaschine, Schlagschrauber mit Stecknuss und ein Hammer Verwendung. Des Weiteren werden eine Wasserwaage mit Libellen, Kabeltrommel, Leiter und ein Winkelschleifer mit Blättern benötigt. Für Schneidarbeiten empfiehlt sich ein großer Winkelschleifer mit entsprechenden Blättern. Das Kleinmaterial (Unterlagsplatten, Beilagscheiben, Schrauben und Dübel) werden i.d.R. vom Hersteller mitsamt den Hohlwänden geliefert.

#### 4.4.4 Ortbetonwand

Nachfolgend wird der Arbeitsablauf einer Ortbetonwand beschrieben, die durch eine Rahmenschalung hergestellt wird. Dazu wird angenommen, dass die Rahmenschalung auf beiden Seiten der Wand aufgestellt wird und daher durchgeankert werden kann (zweihäufige Schalung).

Nr.	Teilvergange
1	Auflagerfläche der Wandschalung und eventuell vorhandenes Fugenband reinigen.
2	Wandverlauf und dessen Geometrie einmessen (inkl. Wandaussparungen, Türen, etc.).
3	Anschlag für die Schalelemente am Auflager anbringen (z.B. Bohren am Auflager und kurze Steckeisen fixieren).
4	Schalhaut der Elemente mit Betontrennmittel einsprühen.
5	Der Aufstellvorgang kann mit einzelnen Elementen mit oder ohne Kran erfolgen oder es werden ganze Elementverbände mittels Kran auf einmal versetzt. Das erste Element gegen Umfallen mit Richtstützen am Untergrund sichern. Schalelemente von einer Wandecke aus beginnend nacheinander stellen und zusammenspannen. Richtstützen nach Erfordernis aufstellen. Wenn erforderlich, Arbeits- und Betoniergerüste inkl. Absturzsicherung beim Schalungsaufbau berücksichtigen.
6	Schalung für Passbereiche fertigen (Ausgleichsleisten, Passholz).
7	Höhenleiste entsprechend der Wandhöhe auf richtiger Höhe platzieren.
8	Aussparungskörper herstellen und lagerichtig auf der Schalung fixieren, diese entsprechend aussteifen.
9	Einbauten für Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär (z.B. RDS) an der Schalung befestigen und Elektroarbeiten durchführen.
10	Bewehrungsarbeiten (Stabstahl und/oder Matten, Bewehrungsanschluss) durchführen und Anpassung an Einbauten und Aussparungen.
11	Fugenbänder bei Bedarf einbauen.
12	Je nach System Anker und Hüllrohre vorbereiten.
13	Geölte Schalelemente der Gegenschalung (Konterschalung) auf die gereinigte Stellfläche stellen.
14	Anker durchfädeln und die Elemente (Schalung und Gegenschalung) einzeln anspannen.
15	Stirnabschalung an den Wandenden anbringen.
16	Betonage unter Berücksichtigung der Betonierabschnitte und max. Betoniergeschwindigkeit. Verdichtung, Nachbehandlung und Maßnahmen bei tiefen und hohen Temperaturen einleiten.

17	Anker und Verbindungen der Schalungselemente untereinander lösen. Schalungselemente einzeln ausschalen oder gesamten Elementverband ausschalen.
18	Schalungselemente reinigen, Betontrennmittel auf diese gleichmäßig auftragen und für den nächsten Betonierabschnitt verwenden, ansonsten die gereinigten Schalungselemente in die Transportbox stapeln.
19	Ankerkegel oder Ankerkonen entfernen.
20	Betonnachbearbeitung an sichtbare Betonflächen (Grate entfernen, Betonnester sanieren, Versätze bei Schalungsstößen sanieren etc.)

Tab. 12: beispielhafter Bauablauf bei einer Ortbetonwand<sup>139</sup>

## 4.5 Gegenüberstellung

Tab. 13 gibt eine Zusammenfassung der Betonfertigteil- und Ortbetonbauweise nach verschiedenen Kriterien. Diese soll als Hilfestellung dienen, bezüglich der Entscheidung ob Fertigteile eingesetzt werden oder ob das Bauprojekt in Ortbeton hergestellt wird. Kombinationen (Mischbauweise) je nach Randbedingungen des auszuführenden Projektes können sich als sinnvoll erweisen.

Kriterien	Fertigteilbauweise	Ortbetonbauweise
<b>Planung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eine zusätzliche Planungsschnittstelle kommt hinzu (Schnittstellenproblematik). Mitwirken von Bauherr, Planer, Statiker, Professionist, etc. ist erforderlich.</li> <li>- Planungsgrenzen sind aufgrund von Herstellungsgrenzen (abhängig vom Hersteller) und Transportgrenzen gegeben.</li> <li>- Vorlaufzeit der Planung, Produktion und Transport ist v.a. bei Sonderkonstruktionen zu beachten.<sup>140</sup></li> <li>- Es sind bedingt kurzfristige Änderungen möglich, die jedoch teuer sind.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Theoretisch max. Flexibilität hinsichtlich Planungsvielfalt, Entwurfsmöglichkeiten ist gegeben.</li> <li>- Fülle an zusätzlichen Detaillösungen (Anschlussdetails) sind notwendig (Planungsmehraufwand).</li> </ul>

<sup>139</sup> Vgl.: K. Bisani: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skript zur Vorlesung, Stand: 14.11.2006, S. 61.

<sup>140</sup> Vgl. Zilch: Handbuch für Bauingenieure – Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, 2012, S. 942.

	<p>- Die Planung von möglichst „gleichartigen“ Fertigteilen ist wirtschaftlicher. Runde Fertigteile, sofern diese realisiert werden können, sind i.A. Sonderlösungen und daher teuer.</p>	
<b>Statik</b>	<p>- In und um den Bereich von hohen Lasten sind Fertigteile gegebenenfalls nicht mehr realisierbar).</p> <p>- Geringerer Widerstand bei dynamischen Lasten ist aufgrund der wenig duktilen Verbindungen der Fertigteile gegeben (z.B. bei Erdbeben)<sup>141</sup>.</p> <p>- Maximale einbaufähige Bewehrungsmenge ist wegen Platzverhältnissen in den Fertigteilen begrenzt<sup>142</sup>.</p> <p>- Bei den Elementfugen wird die Bewehrung getrennt und diese nehmen somit maßgebenden Einfluss auf die Statik.<sup>143</sup></p>	<p>- Beliebige Querschnitte sind für die Lastabtragung möglich.</p> <p>- Biegesteifer Anschluss und Durchlaufträgerwirkung führt zu schlankeren Querschnitten.</p>
	<b>Kalkulation</b>	<p>- höhere Kalkulationssicherheit</p> <p>- höheres Risiko</p>
	<b>Produktion</b>	<p>- Durchgehende witterungsunabhängige Produktion ist gegeben<sup>144</sup>.</p> <p>- Bauproduktionsstopp wegen Schlechtwetter ist möglich (führt zu Bauzeitverlängerung).</p>
	<b>Transport</b>	<p>- Sofern Sondertransporte notwendig sind, dann sind Genehmigungen, Straßensperren etc. rechtzeitig zu beantragen, unter Beachtung der Vorlaufzeit.</p> <p>- Erhöhte Koordination von verschiedenen Transporten, weil Schalung, Bewehrung und Beton zeitlich unterschiedlich angeliefert und eingebaut wird.</p>

<sup>141</sup> Vgl. Bachmann: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2010, S.39

<sup>142</sup> Vgl. Bachmann: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2010, S.97.

<sup>143</sup> Vgl. Grupp: Schalungsatlas: Schalungssysteme und Einsatz in der Praxis, 2009, S.92.

<sup>144</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S.399.

<b>Baustelleneinrichtung</b>	<b>Lagerung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ebene tragfähige (eventuell größere) Lagerflächen müssen geschaffen werden, sofern die Fertigteile auf der Baustelle zwischengelagert werden.</li> <li>- Lagerflächen können minimiert werden, durch Versetzen „just in time“.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Getrennte Lagerung von Schalung und Bewehrung.</li> </ul>
	<b>Zufahrt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kurvenradien (Schleppkurven) sollen auf die zu liefernden Fertigteile abgestimmt sein.</li> <li>- Die Längs- und Querneigung muss besonders beachtet werden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baustraßen und Zufahrten sollen eben und befestigt sein (gilt für Fertigteile).</li> </ul>
	<b>Kran</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krandidimensionierung ist in erster Linie vom Gewicht der Fertigteile abhängig.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krandidimensionierung ist vom Gewicht des vollen Krankübels oder der Schalungsteile abhängig.</li> </ul>
<b>Bauablauf</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einweisung des Personals ist bei Arbeiten mit massiven Fertigteilen (Gefährliche Arbeiten) erforderlich.</li> <li>- In Abhängigkeit des Vorfertigungsgrades entfallen Schalungs- und Bewehrungsarbeiten. Durch die reduzierte Schalungs- und Bewehrungsmenge wird weniger Lagerfläche notwendig.</li> <li>- Das Versetzen von Fertigteilen ist bei tiefen Temperaturen dennoch möglich.</li> <li>- Unter Umständen kann das Baugerüst entfallen (z.B. wenn die Wärmedämmung im Fertigteil integriert ist).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesamtes Material (Schalung, Bewehrung, Beton) muss für den Bauablauf organisiert werden (höherer Verwaltungsaufwand).</li> <li>- Das Herstellen von Ortbetonbauteilen ist eine körperlich schwere Arbeit.<sup>145</sup></li> <li>- Kontrolle und Abnahme von mehr Einzelleistungen (Schalung, Bewehrung) ist notwendig.</li> <li>- Mehr Überwachung und Koordination auf der Baustelle ist notwendig,<sup>146</sup> weil mehr gewerbliches Personal auf der Baustelle vorhanden ist, welches sich unter Umständen gegenseitig behindert.</li> </ul>	

<sup>145</sup> Vgl. Grupp: Schalungsatlas: Schalungssysteme und Einsatz in der Praxis, 2009, S.92

<sup>146</sup> Fa. Prilhofer Consulting: Wirtschaftlichkeit - <https://www.prilhofer.com/vorteile-betonfertigteile/wirtschaftlichkeit>, Zugriff am 29.09.2020.

<b>Fehlerquote</b>	- Größere Genauigkeit (einige mm) und gleichbleibende Qualität der Fertigteile, wegen industrieller Fertigung ist gegeben.	- Die Wahrscheinlichkeit von Ausführungsmängeln ist höher (Gewährleistungsfrist).
<b>Einbauten / Installationen</b>	- Das Vorsehen von Einbauteilen in den Fertigteilen ist bedingt möglich. Der Hersteller muss die Einbaufähigkeit bestätigen.	- Eine Vielzahl an Einbauteilen kann in den Ortbetonbauteilen vorgesehen werden. - Die Bauteilaktivierung ist einfacher zu realisieren.
<b>Bauzeit</b>	- Durch Vorfertigung im Werk (eventuell mit Einbauteilen) ist eine Verkürzung der Vorgangsdauer für Schal- und Bewehrungsarbeiten gegeben <sup>147</sup> . Dadurch wird die Bauzeit verkürzt. Fertigteile können eine Alternative bei pönalisiertem Endtermin darstellen, sofern diese optimal eingesetzt werden.	- Längere Vorgangsdauer für Schalung und Bewehrung, da diese Vorgänge i.A. viel Zeit in Anspruch nehmen. Die Bauzeit wird verlängert, dadurch steigen die (bauzeitabhängigen) Baustellengemeinkosten. Wegen längerer Bauzeit folgt höhere Lärmbelästigung (Emissionen) der Anrainer und höhere Unfallgefahr des gewerblichen Personals <sup>148</sup>
<b>Oberfläche</b>	- Die Fertigteiloberflächen sind i.A. glatter und porenarmer, als Ortbetonoberflächen (wenn keine Strukturoberfläche vorgesehen). Dadurch ist eine gesicherte Qualität für nachfolgende Gewerke (z.B. Maler) gegeben. - Elementfugen müssen mit geeignetem Material geschlossen werden.	- Eine vergleichbare Oberfläche ist nur mit sehr hohem Arbeitsaufwand zu bewerkstelligen. Ein erhöhter Verbrauch an Spachtelmasse, Beschichtung, Farbe etc. ist aufgrund größerer Porigkeit gegeben. - Ankerlöcher sind vor der Endbeschichtung zu verschließen.

Tab. 13: Gegenüberstellung von Fertigteil- und Ortbetonbauweise

<sup>147</sup> Vgl. Bauer: Baubetrieb, 2007, S. 401.

<sup>148</sup> Fa. proHolz Austria: <http://www.proholz.at/zuschnitt/50/nachgefragt-welches-potenzial-steckt-in-der-vorfertigung/>, Zugriff am 29.09.2020.

## 5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Dieses Kapitel behandelt zunächst die Kalkulationsgrundlagen. Es werden die verschiedenen Kostenarten definiert. Danach werden die Einzelkosten der drei Kostenkomponenten von Stahlbetonarbeiten, Schalung, Bewehrung und Beton nach gleichem Schema erläutert. Am Ende des Kapitels werden anhand Musterbeispiele die Kosten von zwei verschiedenen Bauverfahren ermittelt. Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse kann beispielsweise durch einen kalkulatorischen Verfahrensvergleich, wie im Abschnitt 5.3.4 durchgeführt werden. Das Ziel der Wirtschaftlichkeitsanalyse ist also, das kostengünstigste Bauverfahren zu eruieren..

### 5.1 Kalkulationsgrundlagen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der Kalkulation erarbeitet, welche für die Berechnung im Abschnitt 5.3 und 5.4 relevant sind. Dazu werden der Leistungswert und Aufwandswert, der Mittellohn und die Komponenten, die den Gesamtpreis bilden, behandelt.

#### 5.1.1 Grundformel der Gesamtpreisbildung

Als Bauvertrag in der Bauwirtschaft wird üblicherweise der Einheitspreisvertrag herangezogen. Dabei werden Leistung in Positionen zusammengefasst und ein Positionspreis zugewiesen. Die auszuführenden Mengen bzw. Massen (m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, Stk,...) können aus dem Leistungsverzeichnis entnommen werden. Die ausgeschriebene Menge, multipliziert mit dem dazugehörigen Einheitspreis, ergibt den Positionspreis (= Einzelkosten der Teilleistung). Es handelt sich dabei um die erste Zeile in Tab. 14. Für den Gesamtpreis müssen zu den Einzelkosten noch die Baustellen-, Geschäftsgemeinkosten, das Wagnis und der Gewinn addiert werden, wie in Tab. 14 dargestellt.<sup>149</sup>

Kosten der Einzelleistungen (Lohn, Material, Geräte, Fremdleistungen, Sonstige)
+ Baustellengemeinkosten (einmalige, zeitgebundene, Geräte, Sonstige)
= HERSTELLKOSTEN
+ Geschäftsgemeinkosten (Zentralregie) + Bauzinsen
= SELBSTKOSTEN
+ Wagnis + Gewinn
= GESAMTPREIS
+ Umsatzsteuer (derzeit 20%)
= ANGEBOTSSUMME (zivilrechtlicher Preis)

Tab. 14: Grundformel der Gesamtpreisbildung<sup>150</sup>

<sup>149</sup> Vgl. Leimböck, Rüdiger, Hölckermann: Baukalkulation & Projektcontrolling, 2011, S.20.

<sup>150</sup> Adaptiert nach Kropik: Kalkulation & Kostenrechnung im Baubetrieb, VO-WS 2013, Teil 2, S.18.

Dem gegenüber steht der Pauschalpreisvertrag, welcher „fixpreisähnlichen“ Charakter aufweist. Jede Teilleistung wird pauschaliert angeboten.

Einzelkosten sind Kosten, welche direkt der Einzelleistung (= Leistungsposition) zugeordnet werden können (z.B. Lohnkosten beim Betonieren, Materialkosten der Schalung,...). Diese Einzelleistungen sind abnehmbar, aufmessbar und mit dem Einheitspreis ausgepreist.

Baustellengemeinkosten sind Kosten, welche ebenfalls durch die Bauproduktion entstehen, jedoch können sie keiner Position zugerechnet werden, da sie nicht abnehmbar und aufmessbar sind. Deren Kosten werden auf andere Positionen „umgelegt“, sofern keine Position für Gemeinkosten im Leistungsverzeichnis vorgesehen ist. Existieren jedoch diese Positionen, dann sind diese i.d.R. pauschal ausgepriesen.

Bei den Geschäftsgemeinkosten handelt es sich um Vertriebs- und Verwaltungskosten, wie beispielsweise Gehaltskosten der Verwaltung und Geschäftsführung, Marketingkosten, Rechts- und Steuerberatung, EDV, Abschreibungen von Anlagen, Mieten, Pachten, etc. Diese Kosten können mit 6 – 12 % vom Unternehmensumsatz angenommen werden. Die Bauzinsen betragen 0,5 – 2,0 % vom Unternehmensumsatz, diese decken die Kosten für die Vorfinanzierung der Bauproduktion, die Ablöse von baren Sicherstellungen (Hafrücklass, Deckungsrücklass) und Gebühren für die Bankgarantien ab. Das Wagnis (> 0,5 % vom Umsatz) soll das Unternehmerrisiko decken. Der Wagniszuschlag ist abhängig vom Bauvertrag, Ausschreibung, Kalkulationsfehler, Auftragsvolumen, von den zu erwartenden Mängelansprüchen etc. Er kann unterschiedlich hoch auf Lohn, Gehalt, Material, Gerät und Fremdleistung angesetzt werden. Der Gewinn beträgt bei guter Baukonjunktur durchaus 3 % von der Angebotssumme und ist die Grundlage für Investitionen, Expansion und der Wettbewerbsfähigkeit.<sup>151</sup>

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse im Abschnitt 5.3 (Ortbetondecke – Elementdecke) und Abschnitt 5.4 (Ortbetonwand – Hohlwand) werden im Näheren nur die Einzelkosten betrachtet. Aus Abb. 5.1 geht hervor, dass sich die Position „Stahlbetonarbeiten“ i.A. aus den Einzelkosten der Unterpositionen Schalung, Bewehrung und Beton zusammensetzen. Die Einzelkosten der Schalung werden üblicherweise auf die zu schalende Fläche bezogen (€/m<sup>2</sup>), die Kosten der Bewehrung auf das einzubauende Bewehrungsgewicht (€/t) und die Kosten des Betons auf die eingebaute Betonkubatur bezogen (€/m<sup>3</sup>). Anteil für sonstige Kosten (nicht zuordenbar) kann fallweise noch hinzukommen. Die Schalungskosten wiederum setzen sich aus den Lohn-, Stoff-, Geräte- und Transportanteil zusammen. Ähnlich verhalten sich Bewehrungs- und Betonkosten.

---

<sup>151</sup> Vgl. Kropik A.: Kalkulation & Kostenrechnung im Baubetrieb, VO-WS 2013, Teil 2, S.24,25.

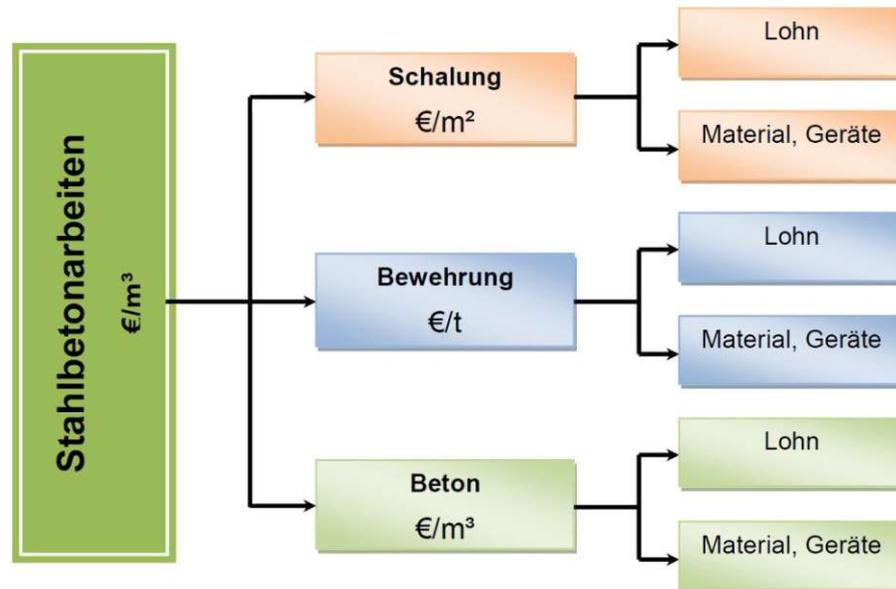


Abb. 5.1: Kalkulation von Stahlbetonarbeiten<sup>152</sup>

Die Lohnsummen und damit die Lohnkosten sind mithilfe des Aufwandswertes (siehe Abschnitt 5.1.4) und der zu ausführenden Menge ( $m^2$ ,  $m^3$ ) ermittelbar. Die Materialkosten werden im Abschnitt 5.2 behandelt. Bei Stahlbetonarbeiten sind dies in erster Linie die Kosten der Schalung, Bewehrung und des Betons. Bei den Gerätekosten handelt es sich um Kosten, die beispielsweise durch Hebezeuge (Kran) verursacht werden. Beispiele: Die Großflächenschalung oder die lose bzw. gebundene Bewehrung wird mit einem stationären Turmdrehkran bewegt oder das Betonieren erfolgt mit dem Kran. Zumeist werden diese Kosten dann in den Baustellengemeinkosten eingerechnet. Sollte beispielsweise eine Autobetonpumpe für Betonage notwendig werden, dann werden die entstandenen Gerätekosten direkt der Position „Beton-Gerätekosten“ zugerechnet (siehe dazu Abschnitt 5.2.3).

Die Zusammensetzung der Einzelkosten von Schalung, Bewehrung und Beton geht aus Abb. 5.2 hervor. Die Abbildung stellt eine Verteilung der Kosten für übliche Stahlbetonarbeiten dar. Ein Großteil der Kosten, nämlich 28 %, werden alleine durch die Schalung verursacht. Dabei ist der Schalungslohn mit 22 % der treibende Faktor. Bewehrungskosten werden mit 25 % angegeben, wovon 19 % auf die Materialkosten zurückzuführen sind. Die Betonkosten fallen mit 20 % am geringsten aus, der Materialanteil beträgt 12 %. Sonstige Kosten werden mit 27 % angegeben. Diese werden verursacht durch Baustoffe (Einbauteile wie z.B. Fugenbänder, Schalungszubehör, Abstandhalter etc.), Verbrauchsstoffe (z.B. Nägel, Polyurethan-Schaum) und Bauhilfsstoffe. In Summe können die Lohnanteile von Schalung, Bewehrung, Beton und Sonstige von den Stahlbetonarbeiten nach Abb. 5.2 mit 45 % angegeben werden.

<sup>152</sup> Adaptiert nach Kropik: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 1, S.4.

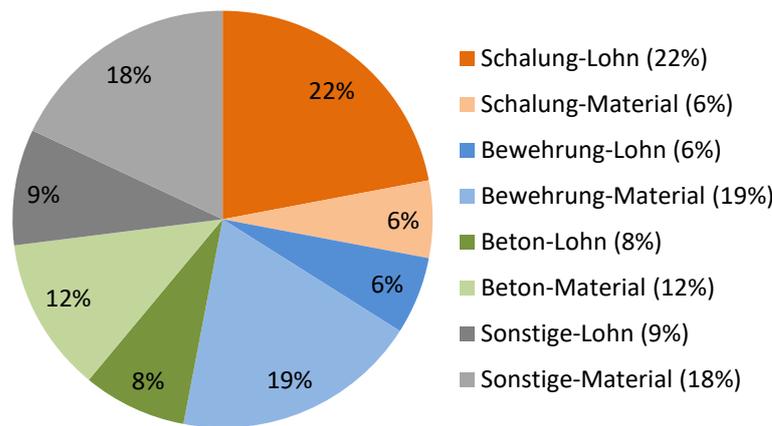


Abb. 5.2: Kostenverteilung von Stahlbetonarbeiten<sup>153</sup>

### 5.1.2 Mittelohnkosten

Für die Erbringung einer Teilleistung ist gewerbliches Personal verschiedener Lohngruppen tätig. Daher wird ein „Mittelohn“ als Durchschnitt aller Beschäftigten für Lohnkosten herangezogen. Grundlagen für Mittelohnberechnung sind exemplarisch etwa die kollektivvertragliche Normalarbeitszeit je Woche, Zuschläge für Überstunden, Schichtarbeit, Erschwernisse, Übernachtungsgelder, Fahrtkostenvergütung etc.<sup>154</sup> Die Mittelohnkosten können durch Befragung des Autors bei einem ausführenden Unternehmen mit 37,00 € (Dez. 2017) angenommen werden.

### 5.1.3 Leistungswert

Der Leistungswert ist ein Kennwert, welcher angibt, wie viel Menge (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, t, Stk,...) je Zeiteinheit (Stunden h) umgesetzt werden kann. Er ist der Kehrwert des Aufwandswertes.

$$\text{Leistungswert } LW \left[ \frac{m^3}{h}, \frac{m^2}{h}, \frac{t}{h}, \frac{Stk}{h} \right] = \frac{\text{Fertigungsmenge } [m^3, m^2, t, Stk]}{\text{Zeiteinheit } [d, h]} = \frac{1}{AW} \quad ^{155}$$

Es handelt sich dabei in erster Linie um einen leistungsorientierten, gerätebezogenen Kennwert. Beispiel: Ein Hydraulikbagger kann in einer Stunde 100 m<sup>3</sup> Erdaushub auf LKWs verladen. Dieser Wert schwankt erheblich, ist abhängig von den örtlichen Betriebsbedingungen und sollte daher für Schlüsselpositionen entsprechend angepasst werden. Anstatt eines Aufwandswertes kann bei geräteintensiven Arbeiten der Leistungswert zugrunde gelegt werden.<sup>156</sup>

<sup>153</sup> Adaptiert nach Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1270.

<sup>154</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.21ff.

<sup>155</sup> Vgl. Jodl: Einrichtung und Betrieb von Baustellen, Studienblätter - Vorlesung SS 2012, S.44.

<sup>156</sup> Vgl. Gossow: Baubetriebspraxis: Leitfaden für die Bauausführung, 1998, S.97.

### 5.1.4 Aufwandswert

Beim Aufwandswert, auch Stundenansatz genannt, handelt es sich um einen Kennwert, welcher angibt, wie viel Zeitbedarf (Stunden h) für eine herzustellende Menge ( $m^3$ ,  $m^2$ , t, Stk,...) benötigt wird.

$$\text{Aufwandswert AW} \left[ \frac{h}{m^3}, \frac{h}{m^2}, \frac{h}{t}, \frac{h}{Stk}, \text{etc} \right] = \frac{\text{Zeiteinheit [h]}}{\text{Fertigungsmenge [m}^3, m^2, t, Stk, \text{etc}]}^{157}$$

Es handelt sich dabei um den Lohnaufwand des gewerblichen Personals. Beispiel: Vier Mann benötigen drei Tage für das Einschalen einer 500  $m^2$  Deckenfläche. Diese Kennwerte sind für die Kalkulation essentiell, da daraus unmittelbar die (Teil-) Bauzeit resultiert ( $AW \cdot \text{Menge} = \text{Bauzeit}$ ). Abb. 5.3 zeigt, aus welchen anderen Quellen Aufwandswerte noch gewonnen werden können. Aufwandswerte werden durch Nachkalkulationen gewonnen und intern in Datenbanken nach Kategorien (Positionen) abgespeichert und für bevorstehende neuere Projekte zu Kalkulationszwecke wieder herangezogen. Sollten keine Daten aufliegen, dann können diese aus fach einschlägiger Literatur herangezogen werden.

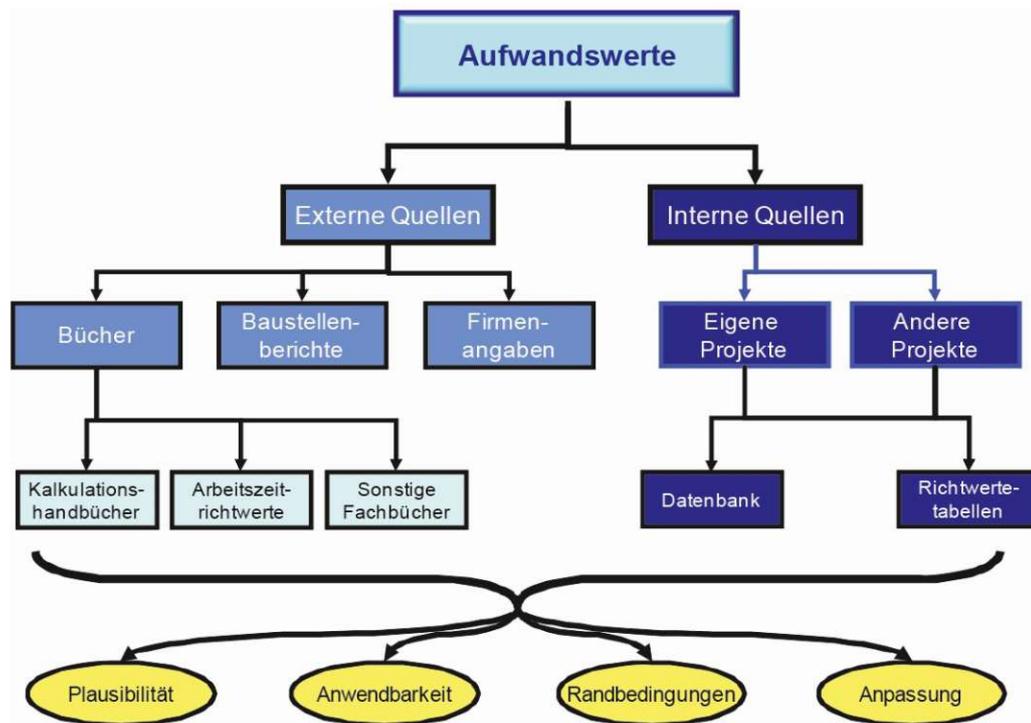


Abb. 5.3: Herkunftsquellen der Aufwandswerte<sup>158</sup>

Aufwandswerte unterliegen innerhalb derselben Position starken Schwankungen, sind daher keine konstanten Werte. Abb. 5.4 zeigt mögliche Einflüsse, welche sich negativ auf den Aufwandswert für Schalarbeiten auswirken und somit die Schalzeit verlängern. Dies ist unter anderem dadurch bedingt, dass jedes Bauvorhaben unterschiedlich geprägt ist. Die Art,

<sup>157</sup> Vgl. Jodl: Einrichtung und Betrieb von Baustellen, Studienblätter - Vorlesung SS 2012, S.44.

<sup>158</sup> Vgl. Hofstadler: Schalarbeiten, 2008, S.324.

Größe und Komplexität des Bauwerks (Einfamilienhaus, Krankenhaus etc.), die Zusammenstellung des gewerblichen Personals, Umweltbedingungen (Jahreszeiten, Witterung etc.), Anzahl der sich wiederholenden Abschnitte (Einarbeitungseffekt) sind unter anderem Randbedingungen, die für den Aufwandswert eine maßgebende Rolle spielen.<sup>159</sup>

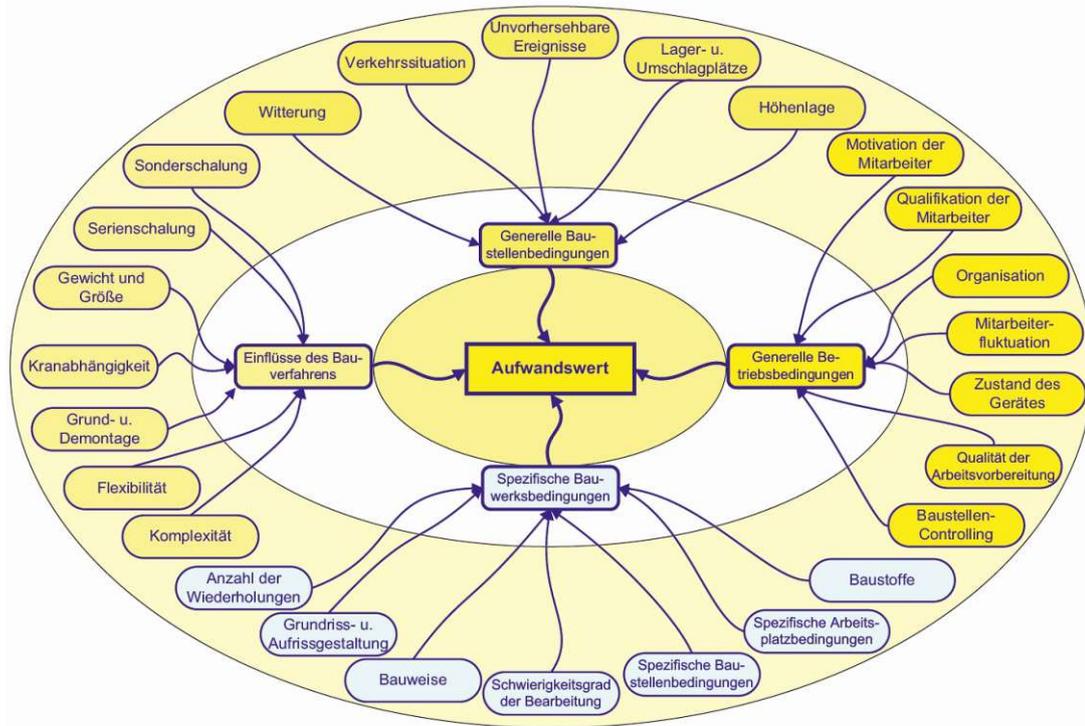


Abb. 5.4: Einflüsse auf den Aufwandswert für Schalarbeiten<sup>160</sup>

### Ausgewählte Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten

In diesem Abschnitt werden die notwendigen Aufwandswerte, die für die Kalkulation der Elementdecke, Ortbetondecke, Hohlwand und Ortbetonwand erforderlich sind, zusammengestellt. In Tab. 15 werden die Aufwandswerte für die Herstellung der Stahlbetondecken angegeben. Die Teilvorgänge sind Elemente der Bauabläufe (siehe Abschnitt 4.4 ab Seite 66). Kranaufwandswerte siehe Tab. 22 auf Seite 90.

<sup>159</sup> Vgl. Zilch: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2013, S.936-938.

<sup>160</sup> Vgl. Hofstadler: Schalarbeiten, 2008, S.306.

## Aufwandswerte für Stahlbeton-DECKEN (Richtwerte)

Quelle	Teilvorgang	AW [h/EH]			EH
		min.	max.	Ø	
Krause <sup>161</sup>	Jochträger und Randabschalung	0,15	0,20	0,18	m <sup>2</sup>
	Elementdecken - Platten verlegen	0,10	0,15	0,13	m <sup>2</sup>
<b>Aufwand für Deckenschalung (Höhe &lt; 3,0 m, Dicke ≤ 25 cm)</b>					
Krause <sup>162</sup>	Decken konventionell schalen	0,80	1,00	0,90	m <sup>2</sup>
	Decken schalen, Holzträgersystemschalung	0,45	0,65	0,55	m <sup>2</sup>
	Decken schalen, Rahmentafeln + Fallkopf	0,40	0,60	0,50	m <sup>2</sup>
	Decken schalen, Schaltische	0,25	0,35	0,30	m <sup>2</sup>
	Zulage für Höhen > 3,0 m	0,10	0,30	0,20	m <sup>2</sup>
	Zulage für Dicken > 25 cm, je cm	0,01			m <sup>2</sup>
	Decken, Rand schalen	0,15	0,25	0,20	m
	Zulage für Sichtbeton	0,10			m <sup>2</sup>
	Aussparungen schalen, alle Größen	0,25	0,65	0,45	Stk
	Leibungen schalen, alle Größen	0,30	0,50	0,40	m <sup>2</sup>
Kropik <sup>163</sup>	Rahmenschalung einschalen	0,50			m <sup>2</sup>
	Rahmenschalung ausschalen, reinigen	0,20			m <sup>2</sup>
	Zuschlag je m Raumhöhe	0,10			m <sup>2</sup>
	Zuschlag für kleine Flächen	10-30 %			%
<b>Verlegeaufwand der Bewehrung für Decken bzw. Platten</b>					
Zilch <sup>164</sup>	Auf- und Abladen Betonstahl, bearbeitet und positioniert	0,9	1,0	0,95	t
	Betonstahl verlegen in Platten alle Ø	9	25	17	t
	Betonstahl verlegen in Platten Ø < 10 mm	22	25	22,5	t
	Betonstahl verlegen in Platten Ø 10-20 mm	16	20	18	t
	Betonstahl verlegen in Platten Ø 22-28 mm	9	12	10,5	t
	Betonstahlmatten schneiden + verlegen in Platten,	14	20	17	t
Kropik <sup>165</sup>	Baustahlmatten schneiden	1,5	3	2,25	m <sup>2</sup>
	Baustahlmatten verlegen	0,08			m <sup>2</sup>
<b>Aufwand der Betonierarbeiten mit Auslegerpumpe für Decken</b>					
Zilch <sup>166</sup>	alle Deckendicken, waagrecht	0,30	0,80	0,55	m <sup>3</sup>
	d = 10-15 cm (> 100 m <sup>2</sup> )	0,60	0,80	0,70	m <sup>3</sup>
	d = 16-20 cm (> 100 m <sup>2</sup> )	0,50	0,70	0,60	m <sup>3</sup>
	d = 21-30 cm (> 200 m <sup>2</sup> )	0,40	0,60	0,50	m <sup>3</sup>
	d = 31-50 cm (> 200 m <sup>2</sup> )	0,35	0,55	0,45	m <sup>3</sup>
	d > 50 cm (> 500 m <sup>2</sup> )	0,30	0,50	0,40	m <sup>3</sup>
Kropik <sup>167</sup>	Deckenbeton	1,50	2,50	2,00	m <sup>3</sup>
	Aufbeton für FT-Decken	0,20	0,30	0,25	m <sup>2</sup>

Tab. 15: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten - DECKE

<sup>161</sup> Vgl. Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1492.

<sup>162</sup> Vgl. Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1487-1489.

<sup>163</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.81.

<sup>164</sup> Vgl. Zilch: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2013, S.939.

<sup>165</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.82.

<sup>166</sup> Vgl. Zilch: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2013, S.939.

<sup>167</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.83.

Die Aufwandswerte in der Tab. 16 und Tab. 17 wurden aus der Diplomarbeit von Weiss<sup>168</sup> entnommen. Es sind dies Aufwandswerte für Deckenschalung, Bewehrungs- und Betonierarbeiten. Diese Werte wurden nach den verschiedenen Literaturquellen zusammengefasst und zeilenweise und spaltenweise ein Durchschnitt der Aufwandswerte gebildet und gelten für die Herstellung von *Stahlbetondecken*.

Quelle	Deckenschalung konventionell [h/m <sup>2</sup> ]			Deckenschalung – Systemschalung [h/m <sup>2</sup> ]		
	Min. AW	Max. AW	AW-Ø	Min. AW	Max. AW	AW-Ø
ARH (HAB)	0,46	0,97	0,72	0,45	1,02	0,74
Drees / Kurz	1,40	2,90	2,15	0,70	0,75	0,73
Fleischmann	1,00	1,50	1,25	0,50	1,00	0,75
Hoffm. / Kremer	0,80	1,00	0,90	0,35	0,80	0,58
Hoffmann F.	0,40	0,95	0,68	0,24	0,58	0,41
Levsen	1,00	2,40	1,70	0,65	0,65	0,65
Meier	0,80	0,92	0,86	-	-	-
Platz	0,60	2,30	1,45	0,40	1,20	0,80
Plümecke	0,65	0,70	0,68	0,49	0,60	0,55
<b>Gesamt Ø</b>	<b>0,79</b>	<b>1,52</b>	<b>1,15</b>	<b>0,47</b>	<b>0,83</b>	<b>0,65</b>

Tab. 16: Aufwandswerte für Deckenschalung<sup>169</sup>

Quelle	Bewehrungsarbeiten Decke [h/to]			Betonierarbeiten Decke [h/m <sup>3</sup> ]		
	Min. AW	Max. AW	AW-Ø	Min. AW	Max. AW	AW-Ø
ARH	9	38	23,50	0,32	1,25	0,79
Drees / Kurz	12	16	14	1,60	2,40	2,00
Fleischmann	-	-	-	1,20	1,50	1,35
Hoffm. / Kremer	12	33	22,50	0,30	0,80	0,55
Levsen	12	42	27	2,05	5,40	3,73
Meier	16	41,95	28,98	1,00	2,35	1,68
Platz	9	38	23,50	0,70	3,30	2,00
Plümecke	9	42	25,50	0,37	1,40	0,89
<b>Gesamt Ø</b>	<b>11,29</b>	<b>35,85</b>	<b>23,57</b>	<b>0,94</b>	<b>2,30</b>	<b>1,62</b>

Tab. 17: Aufwandswerte für Bewehrungs- und Betonierarbeiten - Decke<sup>170</sup>

<sup>168</sup> Weiss M.: Kennzahlen für Stahlbetonarbeiten, Diplomarbeit, TU-Graz, 2010.

<sup>169</sup> Vgl. Weiss M.: Kennzahlen für Stahlbetonarbeiten, Diplomarbeit, TU-Graz, 2010, S.84.

<sup>170</sup> Vgl. Weiss M.: Kennzahlen für Stahlbetonarbeiten, Diplomarbeit, TU-Graz, 2010, S.87, 89.

In Tab. 18 werden die Aufwandswerte aus verschiedenen Quellen für die Herstellung von *Stahlbetonwänden* angegeben.

### Aufwandswerte für Stahlbeton-WÄNDE (Richtwerte)

Quelle	Teilvorgang	AW [h/EH]			EH
		min.	max.	Ø	
<b>Aufwand für Wandschalung (Höhe &lt; 3,0 m)</b>					
Krause <sup>171</sup>	Wände konventionell schalen	0,70	1,20	0,95	m <sup>2</sup>
	Wände schalen mit Rahmenschalung	0,30	0,60	0,45	m <sup>2</sup>
	Wände schalen mit Großflächenschalung	0,20	0,50	0,35	m <sup>2</sup>
	Wände Kleinflächen schalen	1,25	1,75	1,50	m <sup>2</sup>
	Zulage für Höhen > 3 m	0,20	0,40	0,30	m <sup>2</sup>
	Zulage für einseitige Schalung	0,25	0,45	0,35	m <sup>2</sup>
	Zulage für geneigte Schalung	0,20	0,40	0,30	m <sup>2</sup>
	Zulage für gewölbte Schalung	0,70	1,10	0,90	m <sup>2</sup>
	Zulage für Sichtbeton	0,10			m <sup>2</sup>
	Aussparungen schalen, alle Größen	0,25	0,65	0,45	m <sup>2</sup>
	Leibungen schalen, alle Größen	0,30	0,50	0,40	m <sup>2</sup>
Kropik <sup>172</sup>	Schalung aus Brettern, Kanthölzern - einschalen	1,00			m <sup>2</sup>
	Schalung aus Brettern, Kanthölzern – ausschalen, reinigen	0,30			m <sup>2</sup>
	Rahmenschalung – Wände einschalen	0,60			m <sup>2</sup>
	Rahmenschalung – Wände ausschalen, reinigen	0,20			m <sup>2</sup>
<b>Verlegeaufwand der Bewehrung für Wände</b>					
Zilch <sup>173</sup>	Betonstahl verlegen und einbauen (alle Ø)	12	27	19,5	t
	Betonstahl verlegen und einbauen (Ø < 10 mm)	24	27	25,5	t
	Betonstahl verlegen und einbauen (Ø 10 - 20 mm)	18	21	19,5	t
	Betonstahl verlegen und einbauen (Ø 22 - 28 mm)	12	15	13,50	t
Kropik <sup>174</sup>	1 Tonne mit Kran auf- oder abladen	0,70	1,00	0,85	t
	Baustahlmatten schneiden	1,5	3	2,25	t
	Baustahlmatten verlegen	0,08			t
<b>Aufwand der Betonierarbeiten mit Auslegerpumpe für Wände (Höhe ≤ 5,0 m)</b>					
Zilch <sup>175</sup>	Wände betonieren, alle Dicken	0,35	1,40	1,75	m <sup>3</sup>
	Wände betonieren, d = 10-15 cm	1,00	1,40	1,20	m <sup>3</sup>
	Wände betonieren, d = 16-25 cm	0,80	1,20	1,00	m <sup>3</sup>
	Wände betonieren, d = 26-40 cm	0,60	1,00	0,80	m <sup>3</sup>
	Wände betonieren, d = 41-60 cm	0,40	0,80	0,60	m <sup>3</sup>
	Wände betonieren, d > 60 cm	0,35	0,60	0,48	m <sup>3</sup>
Kropik <sup>176</sup>	Wandbeton	1,50	3,00	2,25	m <sup>2</sup>

Tab. 18: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten – WAND

<sup>171</sup> Vgl. Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1487.

<sup>172</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.81.

<sup>173</sup> Vgl. Zilch: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2013, S.939

<sup>174</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.82

<sup>175</sup> Vgl. Zilch: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2013, S.939

<sup>176</sup> Vgl. Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, VO-SS 2009, Teil 3, S.83

In Tab. 19 und Tab. 20 sind wiederum die Aufwandswerte von Weiss angeführt, diese Werte betreffen diesmal jedoch die Herstellung von Stahlbetonwänden.

Quelle	Wandschalung konventionell [h/m <sup>2</sup> ]			Wand-Großflächenschalung [h/m <sup>2</sup> ]		
	Min. AW	Max. AW	AW-Ø	Min. AW	Max. AW	AW-Ø
ARH (HAB)	0,43	0,96	0,70	0,12	0,42	0,27
Drees / Kurz	2,30	2,70	2,50	0,70	1,00	0,85
Fleischmann	1,20	1,40	1,30	-	-	-
Hoffm. / Kremer	0,70	1,60	1,15	0,30	0,50	0,40
Hoffmann F.	0,65	1,30	0,98	0,38	0,73	0,56
Levsen	0,70	1,80	1,25	-	-	-
Meier	1,13	1,96	1,55	-	-	-
Motzko	-	-	-	0,15	0,30	0,23
Platz	0,75	2,70	1,73	0,20	0,90	0,55
Plümecke	0,51	1,30	0,91	0,29	0,63	0,46
<b>Gesamt Ø</b>	<b>0,93</b>	<b>1,75</b>	<b>1,34</b>	<b>0,31</b>	<b>0,64</b>	<b>0,47</b>

Tab. 19: Aufwandswerte für Wandschalung<sup>177</sup>

Quelle	Bewehrungsarbeiten Wand [h/to]			Betonierarbeiten Wand [h/m <sup>3</sup> ]		
	Min. AW	Max. AW	AW-Ø	Min. AW	Max. AW	AW-Ø
ARH	10	42	26	0,50	3,45	1,98
Drees / Kurz	22	24	23	2,20	2,60	2,40
Fleischmann	-	-	-	1,50	1,70	1,60
Hoffm. / Kremer	16	36	26	0,35	1,40	0,88
Levsen	13	32,50	22,75	1,80	5,40	3,60
Meier	19	49,35	34,18	1,15	2,45	1,80
Platz	17	46	31,50	1,20	4,60	2,90
Plümecke	10,50	46	28,25	0,64	3,45	2,05
<b>Gesamt Ø</b>	<b>15,36</b>	<b>39,41</b>	<b>27,38</b>	<b>1,17</b>	<b>3,13</b>	<b>2,15</b>

Tab. 20: Aufwandswerte für Bewehrungs- und Betonierarbeiten - Wand<sup>178</sup>

<sup>177</sup> Vgl. Weiss M.: Kennzahlen für Stahlbetonarbeiten, Diplomarbeit, TU-Graz, 2010, S.83

<sup>178</sup> Vgl. Weiss M.: Kennzahlen für Stahlbetonarbeiten, Diplomarbeit, TU-Graz, 2010, S.86, 89

Die Durchschnittswerte der Aufwandswerte für der Herstellung von Stahlbetondecken und – wände werden in Tab. 21 zusammengefasst. Die angegebenen Durchschnittswerte sind Mittelwerte von minimalen und maximalen Aufwandswerten, welche auch in den Tab. 16, Tab. 17, Tab. 19 und Tab. 20 angeführt sind. Diese Werte werden anschließend in der Kalkulation verwendet.

Art der Verrichtung		AW [h/EH]
DECKE	Deckenschalung konventionell	1,15
	Deckenschalung - Systemschalung	0,65
	Bewehrungsarbeiten Decke	23,57
	Betonierarbeiten Decke	1,62
WAND	Wandschalung konventionell	1,34
	Wandschalung - Großflächenschalung	0,47
	Bewehrungsarbeiten Wand	27,38
	Betonierarbeiten Wand	2,15

Tab. 21: Aufwandswerte für Herstellung von Wänden und Decken

### Kranaufwandswerte

In Tab. 22 werden die Kranzeiten für die maßgebenden Arbeitsvorgänge angeführt. Mit Hilfe von diesen Aufwandswerten (z.B. aus der Nachkalkulation) wird auf erforderliche Kranzeiten geschlossen. Bei den Kranstunden wird ein Zuschlag für Stillstand und Wartezeit berücksichtigt. Mit der monatlichen Kranarbeitszeit ergeben sich die benötigten „Kranmonate“. Mithilfe der geplanten Bauzeit ermittelt man schlussendlich den Bedarf an Kranen.

Arbeitsvorgang	Untergrenze	Obergrenze
<b>Schalung</b>	<b>h/m<sup>2</sup></b>	<b>h/m<sup>2</sup></b>
- konventionelle Deckenschalung	0,020	0,090
- Deckentische	0,020	0,030
- Stützen	0,020	0,045
- Großflächen-Wandschalung	0,040	0,080
- konventionelle Wandschalung	0,020	0,045
- Unterzüge auf Tischen	0,025	0,035
- Unterzüge auf Böcken	0,030	0,040
- Rippendecken	0,050	0,090
- Fundamente	0,010	0,020
<b>Betonstahl</b>	<b>h/t</b>	<b>h/t</b>
- Mattenstahl	0,30	0,55
- Stabstahl	0,20	0,35
- Matten- und Stabstahl (gesamt)	0,24	0,40
- tragende Wände	0,20	0,25
- Fassadenausmauerung	0,17	0,21
- nicht tragende Innenwände	0,17	0,21
<b>Fertigteile</b>	<b>h/Stück</b>	<b>h/Stück</b>
- Gitterträger-Deckenplatten	0,14 (8 m <sup>2</sup> )	0,165 (15 m <sup>2</sup> )
- Bimsbetonplatten	0,04 (4 m <sup>2</sup> )	
- Treppen	0,40	
- Unterzüge	0,70 (25 t/Stück)	
- Fassadenplatten	0,50 (bis 3 t/Stück)	
- Stützen	0,90 (bis 17 t/Stück)	
- T-Träger	0,60 (18 t/Stück)	
- Rahmenträger	0,80 (26 t/Stück)	
<b>Betonieren</b>	<b>h/m<sup>3</sup></b>	<b>h/m<sup>3</sup></b>
- Decken	0,06	0,12
- Fundamente	0,05	0,09
- Wände	0,08	0,15
- Stützen	0,12	0,26

Tab. 22: Kranaufwandswerte typischer Arbeitsvorgänge<sup>179</sup>

## 5.2 Lohn-, Material- und Gerätekosten

Dieser Abschnitt widmet sich den Lohn-, Material- und Gerätekosten, jeweils von Schalung, Bewehrung und Beton. Abschließend werden Materialkosten der Elementdecke und Hohlwand erläutert, welche für die Kalkulation herangezogen werden.

### Materialkosten

Größere Firmen verfügen über eine eigene Einkaufsabteilung, welche unter anderem für den Materialeinkauf zuständig ist. Der Einkauf verfügt über aktuelle Materialeinkaufspreise, z.B. Jahresvereinbarungen bei Großkunden, welche laufend gewartet werden. Bei großen

<sup>179</sup> Vgl. Schach R., Otto J.: Baustelleneinrichtung, 2011, S.19,20

Materialmengen wird häufig nachverhandelt, Sonderrabatte werden angeführt. Sollten keine Materialpreise vorhanden sein, dann können diese für die jeweilige Situation gesondert durch den Einkauf eingeholt werden und fließen dann in die Kalkulation ein. Kosten aus Hilfs- und Kleinmaterialien, wie etwa Gerüste, Schrauben, Nägel, etc. werden durch Erfahrungswerte abgeschätzt.<sup>180</sup>

Die Einkaufspreise sind entweder ab Auslieferungsstelle, ab Herstellerwerk bei Selbstabholung oder frei Baustelle i.d.R. unabeladen, das heißt, dass je nach Vereinbarung zusätzlich Versand-, Transport- und Manipulationskosten anfallen können, welche auf den Materialpreis umgelegt werden. Zuschlag für Bruch, Schwund und Verschnitt muss z.B. aus Erfahrungswerten noch Berücksichtigung finden.<sup>181</sup>

### Gerätekosten

Gerätekosten fallen in erster Linie an, wenn Maschinen eingesetzt werden, diese stehen als Sammelbegriff für alle einem Gerät zuordenbaren Kosten, wie etwa

- ◆ kalkulatorische Abschreibung  $a$  (Wertminderung) und Verzinsung  $v$

$$k = a + z = \frac{100}{v} + \frac{p \cdot n}{2 \cdot v} \quad \text{bzw. ÖBGL}^{182}: \quad K = \frac{k \cdot A}{100}$$

A...mittlerer Neuwert [€]

K...monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag

k...monatlicher Satz für Abschreibung und Verzinsung in % vom mittleren Neuwert

v...Vorhaltemonate

n...Nutzungsjahre

p...kalkulatorischer Zinsfuß von 6,5%

- ◆ Reparatur- oder Instandhaltungskosten

$$R = \frac{r \cdot A}{100}$$

R...monatliche Beträge für jede Geräteart [€]

r...monatliche Sätze in % vom mittleren Neuwert für jede Geräteart

- ◆ Kosten für den Betrieb (Kosten der Betriebsstoffe, Verschleißteile, Lohnkosten bei Wartung und Betrieb)
- ◆ andere Kosten (Geräteverwaltung, Steuern, Versicherungen,...).<sup>183</sup>

Die Ermittlung der Gerätekosten erfolgt üblicherweise mit der Baugeräteliste. Anzumerken ist, dass die darin enthaltenen Sätze und Beträge für Abschreibung, Verzinsung und Reparatur Durchschnittswerte darstellen, da diese aus normalen Betriebsbedingungen bei überwiegender Normalarbeitszeit hergeleitet wurden. Sie müssen den tatsächlichen Betriebsbedingungen angepasst werden. Baugeräte können, sofern kein Zugriff auf eigene

<sup>180</sup> Vgl. Jacob D.: Kalkulieren im Ingenieurbau, 2011, S.189.

<sup>181</sup> Vgl. Jodl: Bauverfahrenstechnik, Studienblätter - Vorlesung 2009, Kapitel 1, S.8.

<sup>182</sup> ÖBGL: Österreichische Baugeräteliste – Ein Standardwerk, welches Daten für alle im Bereich der Bauausführung und Baustelleneinrichtung gängigen Baumaschinenarten und Baugeräte beinhaltet.

<sup>183</sup> Vgl. Jodl: Bauverfahrenstechnik, Studienblätter - Vorlesung 2009, Kapitel 1, S.9.

Baugeräte vorhanden ist, angemietet oder geleast werden. Kann das Gerät nicht direkt einer Position zugeordnet werden (z.B. Turmdrehkran), dann werden diese Kosten in die Baustelleneinrichtung eingerechnet.<sup>184</sup>

### 5.2.1 Schalung

Die Produktionsabläufe von Schalungsarbeiten sind im Vorfeld plan- und kalkulierbar. Bei mangelhafter Arbeitsvorbereitung und Unkenntnis von Einflüssen und Abhängigkeiten können dadurch erhebliche Leistungseinbußen entstehen. Eine sorgfältige Arbeitsvorbereitung ist daher unumgänglich und sollte folgende Punkte beinhalten:

- ◆ In Anhängigkeit der Terminplanung werden die Betonierabschnitte festgelegt und der Taktplan erstellt. Takt<sup>185</sup> = Teilzeit aus Einschalen, Bewehren, Betonieren, Ausschalfrist, Ausschalen, Reinigen, Umsetzen in den nächsten Taktabschnitt. Kleinere Betonierabschnitte führen zu mehr Schaleinsätze auf der Baustelle, welche die Schalungskosten minimieren.
- ◆ Schalungsart (konventionell, Deckentische, Rahmenschalung,...) und damit die Elementgröße der Schalung festlegen.
- ◆ Passende Schalmenge ermitteln. Zu viel Schalmaterial führt zu höheren Kosten und hemmt den Bauablauf. Zu wenig Schalmaterial verursacht Wartezeiten, diese zu reduzieren liegt im Verantwortungsbereich des Bauleiters.
- ◆ Das Personal muss auf die zu erbringende Leistung abgestimmt sein (Schaler, Bewehrter, Betonierer,...).

Die Zusammensetzung der Schalungskosten im Einzelnen, ist in Abb. 5.5 ersichtlich. Diese setzen sich i.d.R. aus Lohn-, Material- und Gerätekosten zusammen. Die Transportkosten dürfen dabei nicht vernachlässigt werden. Bei den Transportkosten müssen Manipulationskosten (z.B. Abladen) hinzugerechnet werden, da Lieferungen i.A. unabeladen erfolgen. Für den Materialanteil sollte jedenfalls eine Reserve für Bruch, Materialverlust und Verschnitt berücksichtigt werden. Da Schalungskosten einen erheblichen Kostenbestandteil der Stahlbetonarbeiten ausmachen (Abb. 5.2, Seite 82), werden diese nun näher erläutert.

---

<sup>184</sup> Vgl. Jacob D.: Kalkulieren im Ingenieurbau, 2011, S.189,190.

<sup>185</sup> Vgl. Bauer H.: Baubetrieb, 2007, S.372.

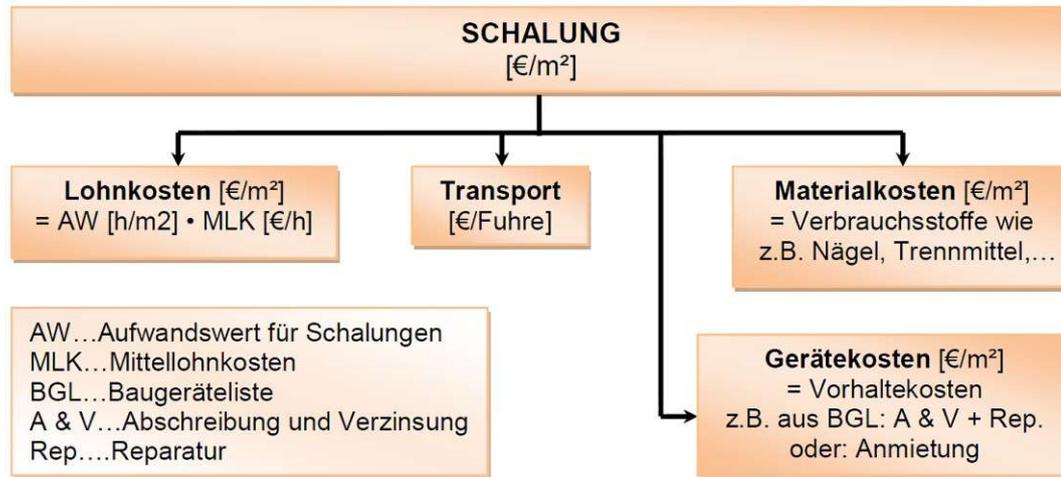


Abb. 5.5: Kostenbestandteile der Schalung

### Lohnkosten

Abb. 5.2 zeigt, dass sich Schalungskosten aus ca. 25 % Materialanteil und ca. 75 % Lohnanteil zusammensetzen. Die Schalzeit ist daher der entscheidende und beeinflussbare Kostenfaktor. Je kürzer die Schalzeit, desto niedriger sind die Kosten. Die Lohnkosten sind unter anderem von der Bauwerksgeometrie (wird zunehmend komplexer), vom Schalverfahren (Systemschalung, kleine und große Schalungen etc.), von der Anzahl gleicher Abschnitte (Einarbeitungseffekt), den Wand- und Deckenstärken, den Witterungseinflüssen und der Krankkapazität abhängig.<sup>186</sup> Die Schalzeit wird von mehreren Faktoren beeinflusst (Abb. 5.4). Die Aufwandswerte für Schalarbeiten an Decken und Wänden können aus Tab. 16, Tab. 18 und Tab. 19 entnommen werden.

Den Sachverhalt betreffend der Schalzeit schildern Schalungsanbieter folgendermaßen:

*„Eine wirtschaftliche Baustellenabwicklung und gute Ergebnisse stehen und fallen mit den Grundmontagezeiten, den Schalzeiten, den Demontagezeiten und letztendlich mit den Reinigungszeiten. Es kommt bei den heutigen Lohnkosten in Mitteleuropa nicht so sehr darauf an, Materialkosten einzusparen, sondern das Schalungsgerät muss schnell sein und sich über die Lohnkostenreduzierung amortisieren. Selbst wenn Nachunternehmer zu günstigeren Stundensätzen die Schalungsleistung einbringen, werden auch sie ihren Festpreis daran orientieren, wie schnell mit dem Gerät gearbeitet werden kann. Die Bauwerksgeometrie wird aufwändiger und die zur Verfügung stehende Bauzeit immer kürzer. Ein solcher Termindruck lässt sich nicht nur durch eine Erhöhung kostengünstiger Personalressourcen kompensieren, sondern auch das Gerät auf der Baustelle muss funktional sein.“<sup>187</sup>*

<sup>186</sup> Vgl. Bauer H.: Baubetrieb, 2007, S.373.

<sup>187</sup> Bauer H.: Baubetrieb, 2007, S.369, 370.

### Gerätekosten

Die Kosten der Schalung sind maßgeblich von der Schalmenge (= Vorhaltemenge) abhängig. Sie können, wie bei den Baugeräten, entweder über die Vorhaltekosten, bestehend aus kalkulatorischer Abschreibung und Verzinsung einschließlich Reparaturkosten (mithilfe der Baugeräteliste oder mittels firmeninternen Gerätesätzen), ermittelt werden oder die gesamte Schalung wird von Schalungsanbietern angemietet. Die Abschreibung erfolgt über die Anzahl der möglichen Einsätze in Abhängigkeit der Anforderungen der Oberfläche. Beispielsweise kann dieselbe Schalung für Sichtbetonoberflächen nach vier Einsätzen unbrauchbar sein, während bei Fundamentabschalungen 40 Einsätze durchaus denkbar sind.<sup>188</sup>

Schalungen werden heutzutage überwiegend gemietet. Der Marktanteil bei Mietgeräten liegt bei 75 – 85 % und nimmt weiter zu. Ein Mietkauf wird von den Anbietern ebenfalls angeboten.<sup>189</sup> Bei gemieteter Schalung werden von den Schalungsfirmen einmalige Grundkosten (2 – 7 %) und ein monatlicher Mietsatz (2 – 5 % der Investitionskosten) verrechnet.<sup>190</sup> Der Mietsatz ist i.d.R. monatlich konstant. Es kommt vor, dass der Mietsatz im ersten Monat höher ist als für die nachfolgenden Monate, um Baufirmen zu längerer Mietdauer zu bewegen. Schalungsfirmen verrechnen auf unterschiedliche Art und Weise die Mietsätze. Zu beachten ist, dass nach dem Zurückgeben mangelhafter Schalung, von den Schalungsfirmen Reparaturkosten verrechnet werden.<sup>191</sup>

Für die Ermittlung der Vorhaltekosten sind für den Fertigungsabschnitt alle Schalungsteile (Schalelemente, Schalungsträger, Schalplatten, Stützen, Innen- und Außenecken, Anker,...) in einer Stückliste zu summieren (Abb. 5.6). Diese Liste kann manuell (z.B. durch Abzählen) oder bei größeren, komplexeren Bauvorhaben EDV-unterstützt mit Schalungsprogrammen der Anbieter generiert werden.<sup>192</sup>

Abb. 5.6 zeigt beispielhaft, wie die Vorhaltekosten einer Schalung berechnet werden können. Die Kosten werden berechnet, indem die einzelnen Elemente der Schalung mit dem dazugehörigen Stückpreis multipliziert werden, anschließend wird eine Summe gebildet (= *Neuwert A*) und mittels betriebsinternen Sätzen der *aktuelle Wiederbeschaffungswert* ermittelt. Schlussendlich werden mit den Sätzen für Abschreibung + Verzinsung und Reparatur die *Vorhaltekosten je Monat* bestimmt.<sup>193</sup>

<sup>188</sup> Vgl. Hoffmann M.: Beispiele für die Baubetriebspraxis, 2006, S.158.

<sup>189</sup> Vgl. Bauer H.: Baubetrieb, 2007, S.373.

<sup>190</sup> Vgl. Krause: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 2016, S.1275.

<sup>191</sup> Vgl. Hofstadler Ch.: Schalarbeiten, 2008, S.319.

<sup>192</sup> Vgl. Hofstadler Ch.: Schalarbeiten, 2008, S.315, 316.

<sup>193</sup> Vgl. Hoffmann M.: Beispiele für die Baubetriebspraxis, 2006, S.158.

muster bau firma		Gerätestammkarte Schalung						
Bauteil:	<b>Wandschalung</b>		BGL-Nr.				U.0.25.0000	
Hersteller/ Typ:	Alu-Rahmentafelschalung		Nutzungsjahre:		n	4		
	Alu-Rahmentafeln		Vorhaltemonate:		v	45		
Gesamte zu schalende Fläche:	1120 m <sup>2</sup>		Monatl. Abschreibung+Verzinsung:		k	2,5%		
Schalabschnitte (Einsätze):	8		Monatl. Reparaturkosten		r	3,5%		
Schalfläche je Abschnitt:	140 m <sup>2</sup>							

Vorhaltekosten (nach BGL)	Bezeichnung	Dimen- sion	Menge	Fläche in m <sup>2</sup>		Gewicht in kg		mittl. Neuwert A in €	
				einzel	gesamt	einzel	gesamt	einzel	gesamt
	Normelemente 270/90 cm	St	55	2,43	133,65	68,0	3.740,0	553,00	30.415,00
	Aufstockelemente 90/90 cm	St	55	0,81	44,55	25,0	1.375,0	232,00	12.760,00
	Innenecken 270 cm	St	6	0,81	4,86	30,0	180,0	525,00	3.150,00
	Innenecken 90 cm	St	6	0,27	1,62	16,0	96,0	287,00	1.722,00
	Spannklemmen	St	244			2,0	488,0	8,70	2.122,80
	Schnellspanner	St	24			4,0	96,0	30,50	732,00
	Eckriegel	St	40			11,0	440,0	71,50	2.860,00
	Konsolen 90	St	16			16,0	256,0	82,00	1.312,00
	Zug- und Druckstütze GR.2	St	18			21,0	378,0	67,00	1.206,00
	Kleinteile	Prozent	5%				352,5		2.813,99
	Summen:			vorgehaltene Schalfläche:	185 m <sup>2</sup>	Gewicht:	7.402 kg	Neuwert A:	59.094,-
	je m <sup>2</sup> vorgehaltene Schalfläche:					Gewicht je m <sup>2</sup> :	40,0 kg	Neuwert je m <sup>2</sup> :	319,-

Rüstkosten ohne Transport	Stundenaufwand	Sonstige Kosten
Auf + Abladen (je 1 x)	Stunden	€
Auf + Abbauen	30,0 Stunden	€
Summe Rüstkosten:	30,0 Stunden	€

Ansatz für das aktuelle Projekt: Bürogebäude		Basisjahr (Mittelwert) x =	2006	
Ansätze mit betriebsbezogenen Werten in Prozent		in % von A <sub>w</sub>	in €	
Aktueller Wiederbeschaffungswert	= Neuwert A * Kaufpreis-Ansatz in %: 75%	* Index i:	1,06	46.980,- €
Abschreibung und Verzinsung k =	$a + z = \frac{100}{v_B} + \frac{p_B \cdot n_B}{2 \cdot v_B}$	mit $p_B = 5,50\%$ $n_B / n = 1,20$ $v_B / v = 1,25$	2,01%	944,- € / Monat
Reparaturkosten mit lohnbezog. Zuschlag	$r_{\text{gesamt}} = r_B \cdot (1 + r_L \cdot r_{Lz})$	$r_B / r = 0,50$ $r_L = 0,60$ Lohnbezog. Zuschlag $r_{Lz} = 1,08$	2,88%	1.353,- € / Monat
Betriebsbezogene monatliche Vorhaltekosten für das Projekt:			4,89%	2.297,- € / Monat
gewählter Ansatz:				2.297,- € / Monat

Abb. 5.6: Vorhaltekosten je Monat<sup>194</sup>

Mit dem Beispiel aus Abb. 5.6 und einer gegebenen Vorhaltezeit von 3 Monaten errechnen sich die Gerätekosten mit nachfolgender Formel wie folgt:

$$Vorhaltekosten \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\frac{\text{Vorhaltekosten}}{\text{Monat}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{Mo}} \right] \cdot \text{Vorhaltezeit} [\text{Mo}]}{\text{gesamte Schalfläche} [\text{m}^2]} \quad 195$$

$$Vorhaltekosten (\text{Gerätekosten}) \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right] = \frac{2.297 \left[ \frac{\text{€}}{\text{Mo}} \right] \cdot 3 [\text{Mo}]}{1.120 [\text{m}^2]} = 6,15 \text{ € / m}^2$$

<sup>194</sup> Vgl. Hoffmann M.: Beispiele für die Baubetriebspraxis, 2006, S.162.

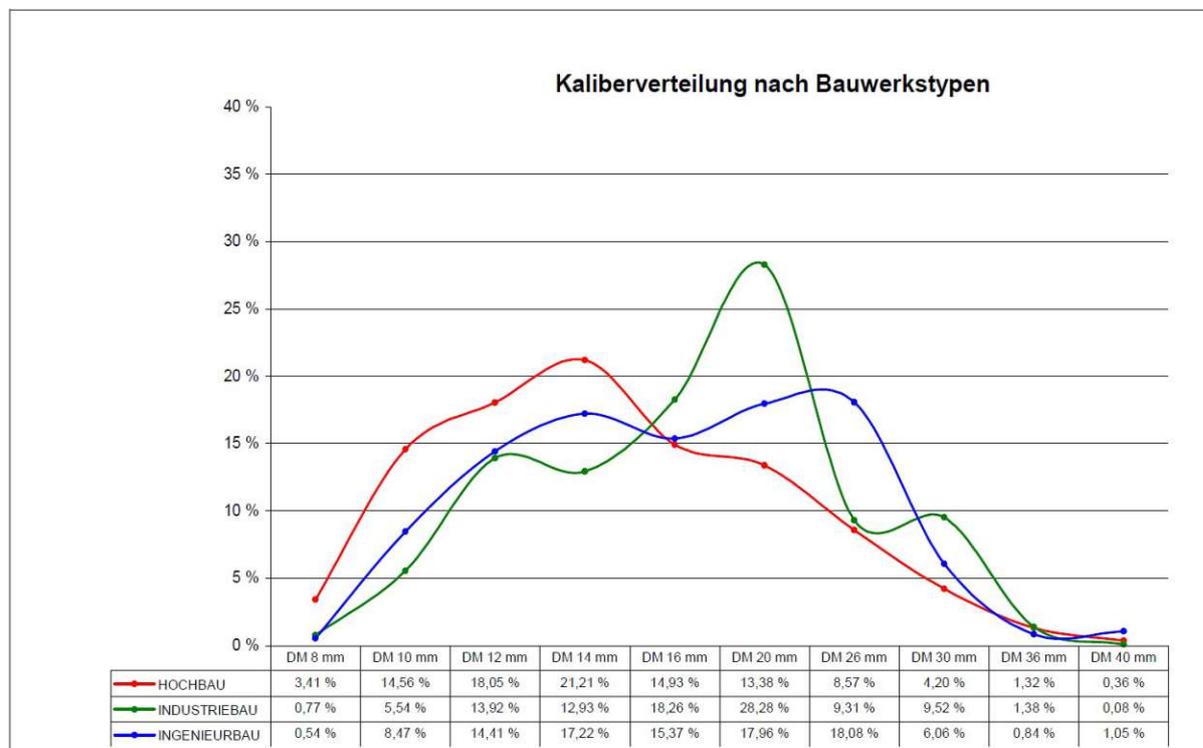
<sup>195</sup> Vgl. Hoffmann M.: Beispiele für die Baubetriebspraxis, 2006, S.160.

## Materialkosten

Unter Materialkosten fallen jene Schalungsteile samt Zubehör an, welche nur einmalig Verwendung finden und danach unbrauchbar sind. Dazu zählen Verbrauchstoffe, wie etwa Trennmittel, Nägel, Leisten, Spanndrähte, Hüllrohre, Abstandhalter etc. Kosten können mittels Erfahrungswerten oder aus Nachkalkulationen ermittelt werden.<sup>196</sup>

### 5.2.2 Bewehrung

Die Kosten der Bewehrung, je nach Bauwerkstyp, liegen lt. VÖBV<sup>197</sup> zwischen 5 und 35 % der Rohbaukosten. Abb. 5.7 zeigt die Durchmesserverteilung nach den Bauwerkstypen. Die Bewehrungsmengen sind demnach vom Bauwerkstyp abhängig (klassischer Hochbau, Industriebau oder Ingenieurbau). In Abb. 5.7 ist ersichtlich, dass im klassischen Hochbau vermehrt Stabstahldurchmesser von 12 und 14 mm zum Einsatz gelangen.



**Abb. 5.7: Durchmesserverteilung nach Bauwerkstypen<sup>198</sup>**

Die Kostenstruktur der Bewehrung in Abb. 5.8 ist ähnlich aufgebaut, wie die Kostenstruktur der Schalung. Die Preise werden üblicherweise in Euro je Tonne angegeben. Die Transportkosten werden auf die Materialkosten umgelegt, oder werden separat ausgewiesen. Die Einzelkosten der Bewehrung (Material- und Lohnkosten) werden nun näher behandelt.

<sup>196</sup> Vgl. Hoffmann M.: Beispiele für die Baubetriebspraxis, 2006, S.158.

<sup>197</sup> VÖBV – Verband Österreichischer Biege- und Verlegetechnik.

<sup>198</sup> Vgl. VÖBV: Wirtschaftliches Bewehren, S.2.

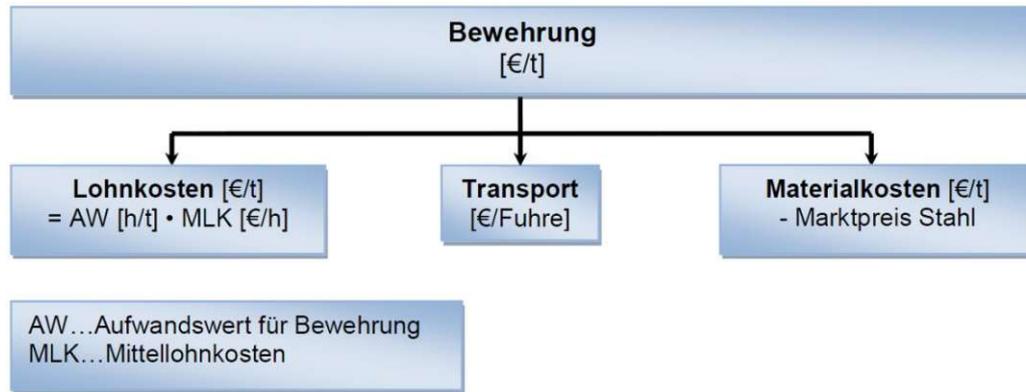


Abb. 5.8: Kostenbestandteile der Bewehrung

### Lohnkosten

Heutzutage wird fast ausschließlich die gesamte Bewehrung von Schneid- und Biegeanstalten bezogen. Optional bieten diese Firmen spezielles Personal für Verlegearbeiten an. Große Bewehrungsmengen werden heutzutage nicht mehr durch das Eigenpersonal verlegt, sondern es werden Subunternehmer beauftragt, welche auf Werksvertragsbasis Bewehrung verlegen. Das heißt, dass der Lohnaufwand für Schneiden und Biegen auf der Baustelle entfällt, dieser bei der Herstellung im Richt-, Schneid- und Biegewerk entsteht und auf den Materialeinkaufspreis der Bewehrung umgelegt wird. Abstandhalter bis zu einer bestimmten Größe (für Betondeckung z.B. bis ca. 3 cm) und Bindedraht sind üblicherweise im Preis inkludiert. Der Lohnaufwand beschränkt sich daher nur auf die Verlegearbeiten auf der Baustelle.

Das Verhältnis von Stabstahl zu Mattenbewehrung kann bei günstigen Verhältnissen mit 60:40 angegeben werden. Um die Lohnkosten zu senken, sollte bei kleinen Durchmessern von 8 – 12 mm das erforderliche Bewehrungsgrundnetz mit Baustahlgittermatten abdeckt werden, weil deren Verlegung gegenüber Stabstahl wesentlich schneller vonstattengeht.<sup>199</sup>

Der Schneid- und Biegeaufwand der Bewehrung kann der Abb. 5.9 entnommen werden. Aus dieser geht hervor, dass der Aufwand umso geringer wird, je größer der Stabstahldurchmesser wird.

Der Schneid- und Biegeaufwand im Biegewerk ist abhängig von:

- ◆ Biegeform (gerade, einfach, mehrfach gebogen)
- ◆ Einzelstabdurchmesser
- ◆ Stablänge
- ◆ Anteil von geschnittener und gebogener Bewehrung
- ◆ Stückanzahl gleicher Stäbe<sup>200</sup>

Der Verlegeaufwand der Bewehrung auf der Baustelle ist unter anderem abhängig:

- ◆ von den Witterungseinflüssen
- ◆ vom Verlegeabschnitt gleicher Bauabschnitte (Einarbeitungseffekt)

<sup>199</sup> Vgl. VÖBV: Wirtschaftliches Bewehren, S.2.

<sup>200</sup> Vgl. VÖBV: Wirtschaftliches Bewehren, S.4,6.

- ◆ von der Verlegerichtung (horizontal, vertikal, geneigt)
- ◆ vom Durchmesser (kleine Durchmesser hängen durch, sind aufwendiger zum Einbauen)
- ◆ von der Länge der Bewehrung (ev. 2 Mann je Stab)
- ◆ von der Bewehrungsart (Stabstahl, Matten oder teils vorgefertigte Bewehrung)
- ◆ vom Lagerplatz der Baustelleneinrichtung (eben, sauber, Zugänglichkeit, Ordnung,...)
- ◆ von den Anarbeiten zu Einbauteilen (Fenster, Türen, DDB, RDS, WDB,...)



**Abb. 5.9: Schneid- und Biegeaufwand der Bewehrung<sup>201</sup>**

Der Verlegeaufwand (Abb. 5.10) verhält sich ähnlich wie der Schneid- und Biegeaufwand. Abb. 5.10 verdeutlicht, dass je dünner der Durchmesser ist desto lohnintensiver ist die Verlegung. Bei kleinen Durchmessern empfiehlt es sich daher anstatt von einzelnen Stäben, Matten oder Kombination aus Stabstahl und Matten als Bewehrung zu verwenden.

<sup>201</sup> Vgl. VÖBV: Wirtschaftliches Bewehren, S.5.

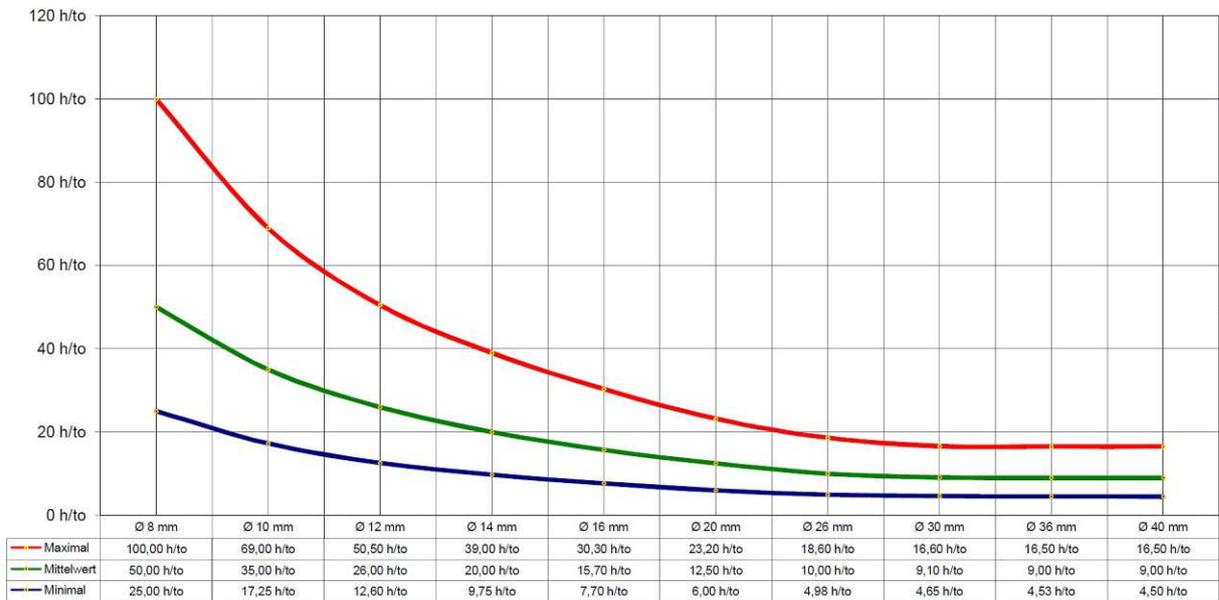


Abb. 5.10: Verlegeaufwand der Bewehrung<sup>202</sup>

### Materialkosten

Die Preise der Bewehrung wurden von einigen Stahllieferanten abgefragt und wurden im Anhang C angeführt. Ergebnis dieser Abfragung ist, dass der Preis für ein Kilogramm Bewehrung mit 1 € angenommen werden (Stand: Dez. 2018) kann. Dies wurde durch Befragung des Autors von ausführenden Unternehmen bestätigt. Ferner wurde durch die Unternehmen angegeben, dass gut 70 % des Preises für Grundmaterial Stahl inkl. schneiden und biegen und für den Transport anfallen. Die restlichen 30 % des Preises können den Verlegearbeiten zugeordnet werden. Diese Kostenverteilung ist in Abb. 5.11 wiedergegeben.

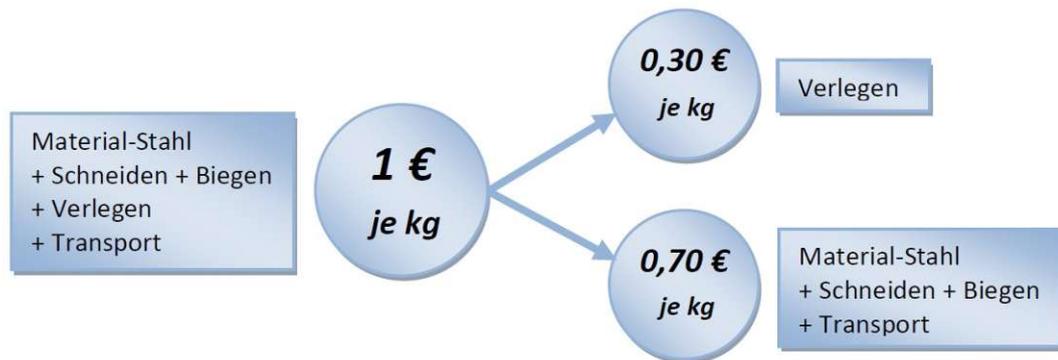
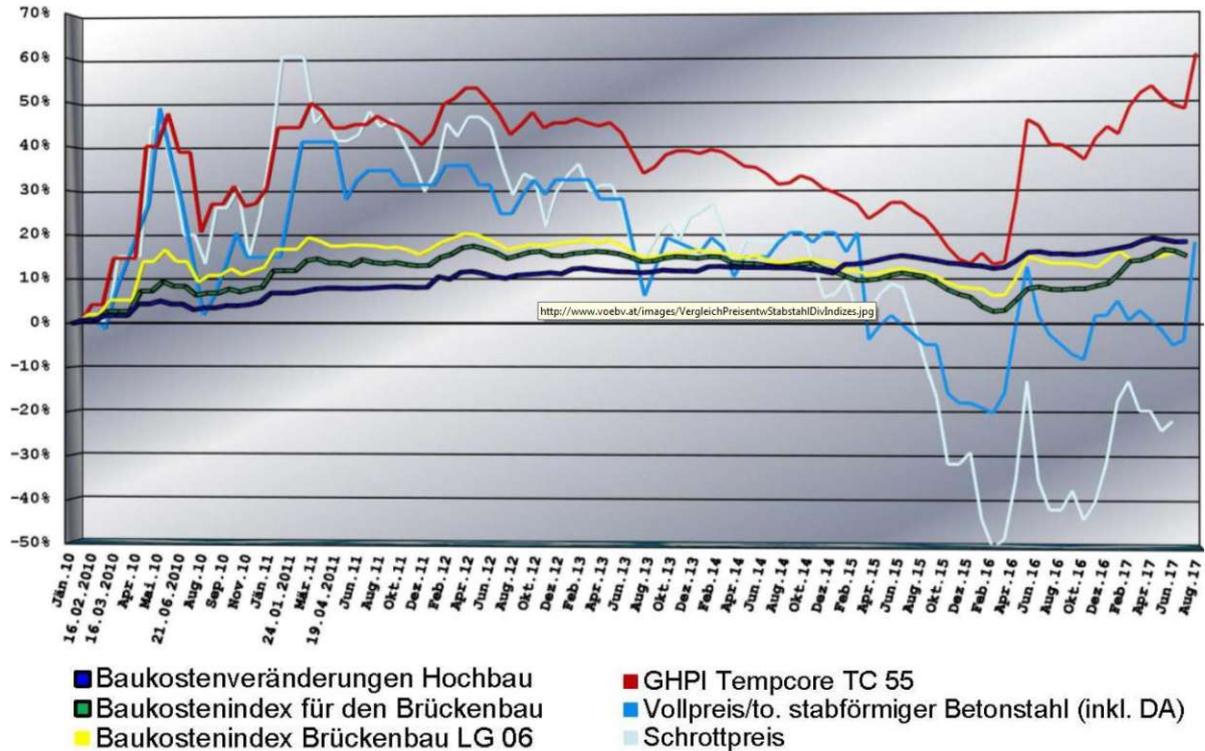


Abb. 5.11: Preiszusammensetzung der Bewehrung

<sup>202</sup> Vgl. VÖBV: Wirtschaftliches Bewehren, S.9.

Die Materialkosten der Bewehrung sind nach VÖBV abhängig.<sup>203</sup>

- ◆ von den Kosten für Ausgangsstoffen für die Stahlerzeugung, die aufgrund von Angebot und Nachfrage, besonders seit 2004, teils erheblichen Schwankungen unterliegen. Hierzu zählt der Stahlschrott, der vom Schrottpreis abhängig ist (Abb. 5.12). Der Stahlgrundpreis beeinflusst unmittelbar die Materialkosten.



**Abb. 5.12: Vergleich Preisentwicklung Stabstahl zu diversen Indizes<sup>204</sup>**

- ◆ beim Stabstahl vom Dimensionsaufpreis. Dieser ist abhängig vom Einzelstabdurchmesser. Die unteren und oberen Stabdurchmesser haben einen höheren Dimensionsaufpreis (Dimensionsauflage) als die mittleren Stabdurchmesser. Bei den Matten wird dieser Aufpreis „Sortenaufpreis“ bezeichnet.
- ◆ von den Abmessungen. Standard-Stangenware hat eine Länge von 14 m. Bei Längen > 14 m wird ein Zuschlag verrechnet. Baustahlgittermatten haben Standardabmessungen von 6,0 x 2,40 m. Größere Matten sind Sondermatten und dadurch teurer.

Für die Kalkulation im Abschnitt 5.3 und 5.4 erfolgte eine Preisabfrage der Materialkosten der Bewehrung durch den Autor bei mehreren Firmen. Die Materialkosten sind im Anhang C angeführt. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um Material-Stahl inkl.

<sup>203</sup> Vgl. VÖBV: Wirtschaftliches Bewehren, S.4.

<sup>204</sup> Verband Österreichischer Biege- und Verlegetechnik (VÖBV) - [http://www.voebv.at/pdf/Steigerung\\_TC\\_div\\_Indices.html](http://www.voebv.at/pdf/Steigerung_TC_div_Indices.html), Zugriff am 29.09.2020.

Dimensionsauflagen, Verschnitt, schneiden und biegen im Werk. Es wurde ein Durchschnitt der Materialpreise ohne Gewichtung von verschiedenen Lieferanten gebildet und dieser schlussendlich für die Kalkulation herangezogen.

### 5.2.3 Beton

Die Schalungs- und Bewehrungskosten wurden in den vorangegangenen Abschnitten 5.2.1 und 5.2.2 beschrieben. Nun wird die dritte und letzte Kostenkomponente der Stahlbetonarbeiten, die Betonkosten, behandelt. In Abb. 5.13 wurde die Kostenstruktur ähnlich der Schalung und Bewehrung beibehalten. Diese beinhalten die Lohn-, Material- und Gerätekosten, welche im Anschluss behandelt werden. Transportkosten werden i.A. den Materialkosten aufgeschlagen.

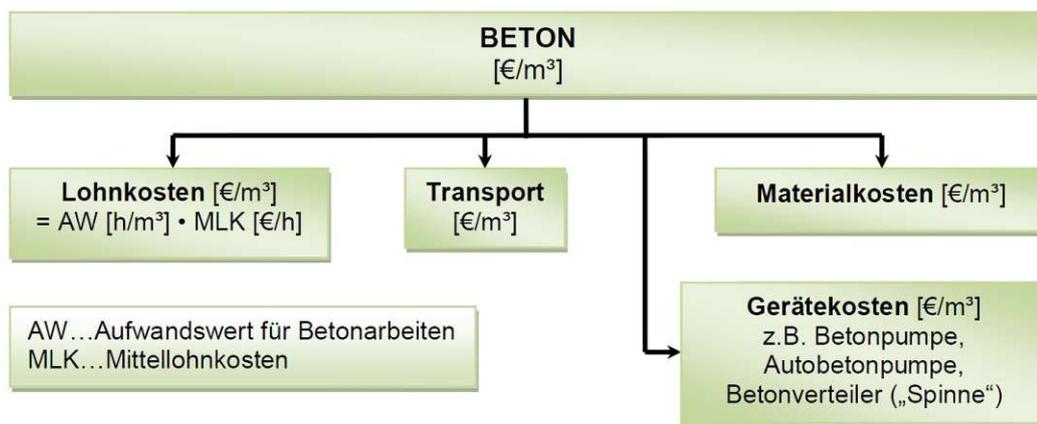


Abb. 5.13: Kostenbestandteile von Beton

#### Lohnkosten

Nach Abb. 5.2 (Seite 82) beträgt der Lohnanteil der Betonierarbeiten an den Gesamtkosten eines Stahlbetonbauteils 8 %. Nachfolgend werden daher Einflüsse auf Betonierarbeiten, die sich unmittelbar auf den Lohnanteil auswirken, wie folgt aufgezählt:

- ◆ Art der Einbringung (Krankübel, Schlauch,...)
- ◆ Verdichten (Innenrüttler, Außenrüttler,...)
- ◆ Art der Nachbehandlung (Aufsprühen von Folien, Abdecken,...)
- ◆ Betonzusammensetzung (Konsistenz, Zusatzmittel,...)
- ◆ Spezialbeton (selbstverdichtend, wasserundurchlässig,...)
- ◆ Anforderung bezüglich Oberfläche (Sichtbeton,...)
- ◆ Betonieren bei hohen und tiefen Temperaturen (Zusatzmaßnahmen,...)
- ◆ Art des Bauteils (Wand, Decke, Pfeiler, Träger,...)
- ◆ Betonieren horizontaler, vertikaler und geneigter Bauteile
- ◆ Wandgeometrie (rund, geneigt, polygonal, Breite, Höhe, Dicke,...)
- ◆ Einbauteile (Fenster, Türen, Fugenbänder,...)
- ◆ Betonierabschnitte (Einarbeitungseffekt)
- ◆ Förderweiten und Förderhöhen des einzubauenden Betons
- ◆ zulässige (vertikale) Betoniergeschwindigkeit (Wand → Schalungsdruck!)

### Materialkosten

Da für die meisten Hochbaubaustellen Transportbeton bezogen wird, wird daher in diesem Abschnitt nur dieser behandelt und nicht der Baustellenbeton, welcher manuell von Hand unter Zuhilfenahme eines Zwangsmischers oder anderen Geräten, wie etwa bei Großbaustellen in einer mobilen Betonfabrik, gemischt wird.

Bei Betonbestellungen müssen die Eigenschaften des Betons vom Besteller exakt angegeben werden. Dazu zählen unter anderem die Betonfestigkeitsklasse (z.B. C 30/37), Expositionsklasse (z.B. XC1) oder Kurzbezeichnungen (z.B. B7), Zementsorte (z.B. CEM II/A-S 32,5 R), Konsistenz (z.B. F52), Größtkorn (z.B. GK16), besondere Eigenschaften (z.B. pumpfähig, Sichtbeton, reduziertes Schwinden, ...). Diese Angaben sind vom Planer bzw. Ausschreibenden eventuell in Abstimmung mit dem Statiker genau bekanntzugeben. Wird bei der Betonbestellung, außer der Betongüte und der Expositionsklasse nichts Konkretes angegeben, dann wird Beton mit folgenden Standard-Merkmalen geliefert:<sup>205</sup>

- Größtkorn: 32 mm
- Zement: CEM II 42,5 N
- Konsistenz: F 45

Der Preis für Transportbeton ist in erster Linie von der Festigkeitsklasse abhängig. Verbesserte Eigenschaften sind aufpreispflichtig. Zuschläge im Beton werden im Winter, abhängig von der Außentemperatur, vor dem Mischen vorgeheizt, deshalb wird ein sog. Wintererschwererniszuschlag von Anfang November bis Ende März verrechnet. Zu beachten ist, dass in manchen Bundesländern zusätzlich eine Landschaftsabgabe<sup>206</sup> auf den Lieferbetonpreis aufgeschlagen wird. In Niederösterreich und Wien beträgt diese Abgabe derzeit 0,41 €/m<sup>3</sup> Beton (Stand: Feb. 2019).<sup>207</sup>

Im Anhang I sind Materialpreise von Transportbeton aufgelistet. Diese Preise gelten für den Raum Wien und Niederösterreich, verstehen sich frei Bau in der Lieferzone 1 (3 - 5 km je nach Transportbetonlieferant) für 1 m<sup>3</sup> verdichteten Beton in der Normalarbeitszeit. In einer weiteren Tabelle im Anhang I sind die Aufzahlungen auf besondere Eigenschaften zusätzlich angeführt.

### Gerätekosten

Eine Möglichkeit der Berechnung der Gerätekosten (Vorhaltekosten) besteht darin, diese mit Hilfe der Kalkulationsansätze (A & V + Rep aus der BGL) analog wie im Abschnitt 5.2 erläutert, zu ermitteln. Die meisten Lieferbetonunternehmen bieten jedoch die gewünschten Geräte und Maschinen (Betonpumpen, Betonverteiler, Innenrüttler,...) für den Betoneinsatz zusätzlich an. Diese Gerätekosten werden dann meist in der Rechnung zusammen mit dem Beton abgerechnet und werden als Materialkosten gebucht. Da die meisten Rechnungen nach Artikelgruppen sortiert sind, können die Gerätekosten am Ende des Projekts einfach

<sup>205</sup> Überwacht und geprüft nach Ö-NORM B 4710-1.

<sup>206</sup> Gesetzliche Abgabe für das obertägige Gewinnen mineralischer Rohstoffe nach dem Landschaftsabgabegesetz.

<sup>207</sup> Landwirtschaftskammer Niederösterreich: Landschaftsabgabe - <https://noe.lko.at/so-setzt-man-beton-richtig-ein+2500+2447515>, Zugriff am 29.09.2020.

herausgefiltert werden. Im Anhang I sind einige Listenpreise verschiedener Anbieter herausgegriffen und angeführt.

### 5.2.4 Elementdecke

Die Elementdecke wurde ausführlich im Abschnitt 2.6 (Seite 17) behandelt. Dieser Abschnitt behandelt die Materialkosten.

#### Materialkosten

Die Materialkosten der Elementdecke (Abb. 5.14) setzen sich hauptsächlich aus dem Plattenpreis, der eingebauten Bewehrung, einiger Aufzählungen, die projektspezifisch bedingt sind und den gewünschten Einbauteilen, zusammen. Einige Hersteller sehen keine gesonderte Aufzählung z.B. für Passplatten vor. Entweder sind die Transportkosten separat ausgewiesen oder im Plattenpreis inkludiert.

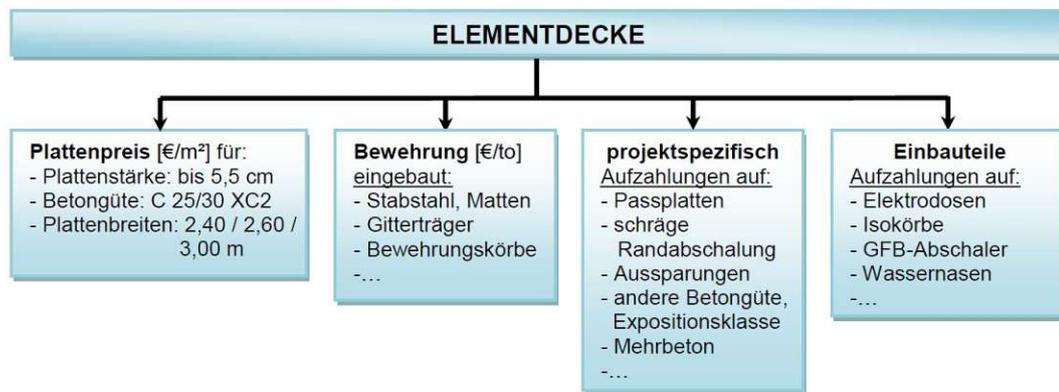


Abb. 5.14: Preiszusammensetzung von Elementdecken

Im Anhang C wurden zu Kalkulationszwecke Preise für die Elementdecke von zwei Herstellern angeführt und Durchschnittswerte gebildet. Im Anhang I sind die Materialkosten der Elementdecke aus Preislisten von einigen Fertigteilherstellern angeführt. Die Preislisten (Stand: 2018) wurden von der Homepage der Hersteller bezogen. Einige Hersteller haben keine Preisliste online gestellt, diese geben ihre Preise für jedes Bauvorhaben individuell an.

#### Lohnkosten

Im Folgenden wird der Lohnaufwand für das Versetzen von Elementdeckenplatten behandelt. Bezüglich des geringeren Lohnaufwands für Bewehrungsarbeiten auf der Elementdecke und Betonieren des Aufbetons wird auf Abschnitt 5.2.2 und 5.2.3 verwiesen. Desweiteren wird auch nicht auf das Herstellen der Unterstellung und Abschaltungen (Deckenrost, Deckendurchbrüche etc.) eingegangen.

Üblicherweise wird für die Montage mind. eine 3-Mann-Partie notwendig. Ein Mann ist für das Anhängen der Deckenelemente zuständig, während zwei Mann für das lagetreue Einrichten am Einbauort fungieren.

Einflussfaktoren auf den Lohnaufwand sind:

- ◆ Anzahl der Elemente
- ◆ Größe der Elemente
- ◆ Tragfähigkeit des Hebezeugs (Diese beeinflusst direkt die Elementgröße und damit die Anzahl der Elemente.)
- ◆ Entfernung zum Einbauort (Kranspielzeit)
- ◆ Witterungseinflüsse während Montage (v.a. Wind)

### Gerätekosten

Gerätekosten werden in erster Linie durch das erforderliche Hebegerät (Kran, Heckkran, Mobilkran etc.) verursacht. Beim Mobilkran wird üblicherweise nach Einsatzstunden abgerechnet. Der Stundensatz beinhaltet den Kran und den Kranfahrer. Zu beachten ist, dass Kosten aus An- und Abfahrt, abhängig von der Krangröße, gesondert in Rechnung gestellt werden. Sollte der Mobilkran innerhalb der Baustelle umgestellt werden, dann ist mit weiteren Kosten zu rechnen. Der Umstellvorgang kann, je nach Krangröße, mehrere Stunden in Anspruch nehmen, weshalb in dieser Zeit keine Fertigteile verhooben werden können. Um die Einsatzzeit und damit die Gerätekosten zu senken, kann der Einsatz eines stärkeren Krans durchaus sinnvoll sein, welcher in der Lage ist, größere Elementplatten zu heben.

### 5.2.5 Hohlwände

Im Abschnitt 2.7 (Seite 36) wurde die Hohlwand beschrieben. Dabei wurde auf die Produktion eingegangen. In diesem Abschnitt werden die Materialkosten beschrieben.

#### Materialkosten

Die Preisbildung der Hohlwand (Abb. 5.15) erfolgt ähnlich wie bei der Elementdecke. Viele Extras sind in der Produktion aufwendig und daher aufpreispflichtig. Die Listenpreise der Hohlwand können aus Anhang I entnommen werden. Für die Kalkulation im Abschnitt 5.3.3 wurden Preise der Hohlwand, welche mengenabhängig angegeben worden sind, abgefragt. Diese Preise sind im Anhang C angeführt.

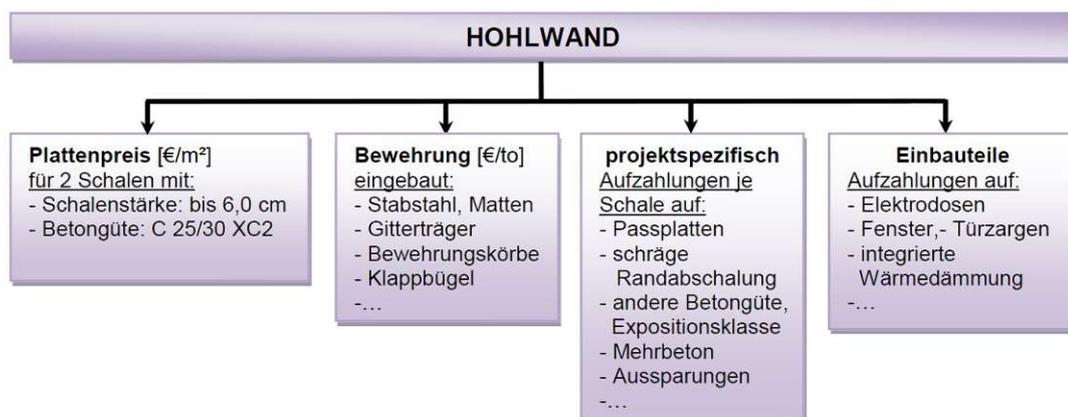


Abb. 5.15: Preiszusammensetzung von Hohlwänden

### **Lohnkosten**

Hierbei wird auf Abschnitt 5.2.4 (Lohnkosten – Elementdecke) verwiesen, da es im gleichen Maße zutreffend ist. In Abschnitt 4.4.3 wird der Montagablauf beschrieben, aus dem der Lohnaufwand ersichtlich ist. Üblicherweise besteht die Montagekolonne aus vier Mann. Ein Mann hängt die Elemente an. Zwei Mann sind für das Einrichten am Einbauort zuständig. Der vierte Mann ist für die Lagesicherung (Anbringen der Richtstützen) zuständig.

In Abschnitt 5.3.3 wird eine Hohlwand kalkuliert. Im Zuge dessen wurden die Lohnkosten zufolge Montage berechnet. Der der Berechnung zugrundegelegte Lohnaufwand wurde aus einer Zeitmessung (siehe Anhang F) ermittelt.

### **Gerätekosten**

Aufgrund der Analogie zu den Gerätekosten – Elementdecke – wird daher auf Abschnitt 5.2.4 verwiesen.

### 5.3 Kalkulation Wand - Musterbeispiel

Im Rahmen einer Arbeitskalkulation eines mehrgeschossigen Büro- und Wohnhauses soll durch den Verfahrensvergleich festgestellt werden, ob Stahlbetonwände gänzlich in Ortbetonbauweise (Bauverfahren A) hergestellt werden, oder diese vorfabriziert, sprich als Hohlwände (Bauverfahren B), welche vor Ort mit Ortbeton ergänzt werden, bezogen werden.

#### Methodik

Um die Kalkulation durchführen zu können, werden zunächst Kalkulationsannahmen und Randbedingungen gemäß Abschnitt 5.3.1 angenommen. Für den Verfahrensvergleich wurden im Vorfeld Materialpreise von den betreffenden Herstellern und Lieferanten eingeholt. Dies erfolgte zumeist auf elektronischem Wege. Dazu wurden Vorlagen in Tabellenform erstellt (Abb. 5.16), in welche die Hersteller ihre Materialpreise eintrugen. Materialpreise wurden telefonisch angefragt und teilweise bekanntgegeben. Etwaige mengengestaffelte Materialpreise wurden berücksichtigt. Listenpreise wurden nicht herangezogen, da auf diese i.d.R. ein mengenabhängiger Rabatt aufgeschlagen wird. Dennoch wurden zu Vergleichszwecken verschiedene Listenpreise im Anhang I angeführt. Es wurden zumindest zwei Hersteller befragt, damit ein Mittelwert der Materialpreise berechnet werden konnte. Die Ergebnisse der Materialpreise sind im Anhang C tabellarisch angeführt. Die Materialpreise für die nachfolgenden Kalkulationen wurden aus Anhang C entnommen. Dabei handelt es sich um Preise, die für 25 m<sup>3</sup> Beton, 10 to Bewehrung und 50 m<sup>2</sup> Hohlwand gelten.

Die Berechnungsstruktur wird, wie in den Abb. 5.5, Abb. 5.8 und Abb. 5.13, getrennt nach Lohn, Material, Geräte etc., beibehalten. Die errechneten Kosten werden auf die Wandansichtsfläche umgelegt, Kosten je m<sup>2</sup> sind die Folge. Üblicherweise wird im K7-Blatt<sup>208</sup> die Detailkalkulation durchgeführt. Wegen der besseren Nachvollziehbarkeit wird die Kalkulation der Einzelkosten der Ortbetonwand im Abschnitt 5.3.2, die der Hohlwand im Abschnitt 5.3.3 detailliert wiedergegeben. Am Ende der Kalkulation werden die errechneten Ergebnisse formhalber ins K7-Blatt (siehe Tab. 25 und Tab. 31) übertragen.

---

<sup>208</sup> Das K7-Blatt ist ein standardisiertes Kalkulationsformblatt für die Preisermittlung, aus diesem geht die Preiszusammensetzung der Position im Detail hervor.

Betonmenge Grundpreis Jahreskunde C25/30 XC2	Einheit	[m <sup>3</sup> ]	25	50	100	200	500	1.000	5.000	10.000	20.000	50.000	100.000
		[€/m <sup>3</sup> ]											
<b>Preisabfrage Beton</b>													
Aufzahlungen: GK 16 GK 8 F52	Einheit	[€/m <sup>3</sup> ]											
		[€/m <sup>3</sup> ]											
		[€/m <sup>3</sup> ]											

Stabstahl BST 550 ab Werk Dimensionsaufpreis für d=8-12mm	Einheit	[to]	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	8000
		[€/to]										
		[€/to]										
<b>Preisabfrage Stahl</b>												
Aufzahlungen: Verlegen Stabstahl Wände Verlegen auf FT-Platten		[€/to]										
		[€/to]										

HW, d=25cm; C25/30, ab Werk 1cm Mehrstärke WDB (2,35 m <sup>2</sup> ) WDB (0,15 m <sup>2</sup> ) WDB (0,06 m <sup>2</sup> )	Einheit	[m <sup>2</sup> ]	50	100	200	500	1000	2500	5000	10000	30000
		[€/m <sup>2</sup> ]									
		[€/m <sup>2</sup> ]									
		[€/Stk]									
		[€/Stk]									
		[€/Stk]									
<b>Preisabfrage Hohlwand</b>											
Stabstahl eingebaut Gitterträger eingebaut Körbe eingebaut Fugenbewehrung mitgeliefert		[€/to]									
		[€/to]									
		[€/to]									
		[€/Stk]									

Abb. 5.16: Vorlage für Preisabfragen von Beton, Stahl und Hohlwand

Im nachfolgenden Abschnitt werden, die für die Berechnung notwendigen Kalkulationsannahmen getroffen.

### 5.3.1 Basisvorgaben (Kalkulationsannahmen)

Im Anhang A sind jeweils Grundriss und Aufriss der zu berechnenden Wand dargestellt. Es handelt sich dabei um eine 29,25 m lange, 3,10 m hohe und 25 cm starke Wand (W1), die in einem Arbeitsschritt hergestellt werden soll. Es wird angenommen, dass es sich dabei um die erste Wandscheibe (W1) handelt, welche hergestellt wird. Die anschließenden Querwände (W2-W6) werden im zweiten Schritt hergestellt. Für einen kraftschlüssigen Verbund der unterschiedlich verlaufenden Wände, sind somit Bewehrungsanschlüsse erforderlich, welche bereits in die erste Wandscheibe (W1) einzubauen sind. Die Material- und Einbaukosten der Bewehrungsanschlüsse bleiben im Rahmen dieser Kalkulation unberücksichtigt. Für die Kalkulation werden weitere projektspezifische Randbedingungen wie folgt angegeben:

- Schalen der Wand erfolgt mittels schwerer Rahmenschalung mit Kunststoffschalhaut.
- Monatliche Sätze für Rahmenschalung lt. ÖBGL in % vom Neuwert:
  - Abschreibung und Verzinsung (AV/Mo): 4,5 %
  - Reparaturentgelt (Rep./Mo): 4,5 %

- Abminderungsfaktoren der monatlichen Sätze für:
  - Abschreibung und Verzinsung (AV/Mo): 0,60
  - Reparaturentgelt (Rep./Mo): 0,70
- Krankkapazität beträgt bei 25 m Ausladung 5.375 kg.
- C 25/30 XC2 als Betongüte und 2,5 cm Betondeckung für Wände wurden vom Statiker vorgegeben.
- Die Stahlbetonwand ist eine Innenwand und soll mit Mindestbewehrung ausgeführt werden.
- Das Betonmischwerk befindet sich 30 km entfernt von der Baustelle.
- Betonage der Wände erfolgt mittels 750 Liter Krankübel.
- Einbauten (z.B. Elektro) in der Wandscheibe werden nicht berücksichtigt.
- Der Mittellohnpreis MLP beträgt 37 € je Stunde.
- Transportkosten der Bewehrung je Fuhre werden mit 400 € angenommen.
- Krankkosten (Geräte + Fahrer) bleiben unberücksichtigt, da diese Kosten den Baustellengemeinkosten zugeordnet werden.
- Kosten zufolge Nachbehandlung werden nicht berücksichtigt.
- Kosten zufolge Nacharbeiten an Betonflächen werden nicht berücksichtigt.

### 5.3.2 Kalkulation Ortbetonwand

In diesem Abschnitt erfolgt die Berechnung der Einzelkosten, welche bei der Herstellung einer Ortbetonwand entstehen. Der Bauablauf für die Herstellung dieser Wand wird beispielhaft im Abschnitt 4.4.4 beschrieben.

#### Geräte- und Materialkosten der Wandschalung

Um die erforderlichen Schalungsteile zu ermitteln, wurde eine Schalungsplanung für eine Wandseite durchgeführt, siehe Abb. 5.17. Daraus ist ersichtlich, dass zwei verschieden große Schalungselemente (1,35 x 2,70 m und 2,70 x 0,40 m) untereinander zu Elementverbänden kombiniert wurden. Großformatigere Schalungselemente wurden aufgrund der Anpassungsfähigkeit hinsichtlich Wandgeometrie nicht gewählt. Die Zubehörteile (Anker, Richtstützen,...) wurden durch ein vorprogrammiertes Excel-Sheet eines Schalungsanbieters in Abhängigkeit der Anzahl und Abmessungen der Schalungselemente generiert. Die erforderlichen Zubehörteile sind in der Tab. 23 angeführt. Die Preise der einzelnen Schalungsteile wurden aus einer aktuellen Preisliste (Jahr 2018) des Schalungsanbieters entnommen.

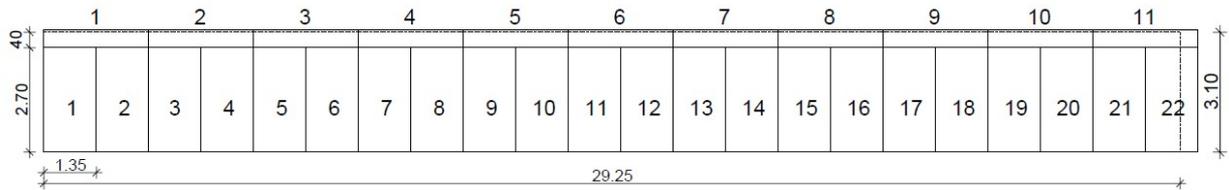


Abb. 5.17: Schalungsplanung

Die zu schalende Fläche der Wand ergibt sich aus:

$$2 \text{ Schalseiten} \cdot \text{Wandlänge} \cdot \text{Wandhöhe} = 2 \cdot 29,25 \cdot 3,10 = 181,35 \text{ m}^2$$

$$\text{Wandansichtsfläche} = 29,25 \cdot 3,10 = 90,68 \text{ m}^2$$

Für nachstehende Schalungsteile werden die Vorhaltekosten ermittelt:

Elemente und Zubehörteile	Stückzahl	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Einzelpreis [€]	Gesamtpreis [€]
Stahlrahmenschalung 270/135	44	160	1.222,00	53.768,00
Stahlrahmenschalung 270/45	22	27	702,00	15.444,00
<b>Verbindungssteile</b>				
Schnellspanner	140		40,50	5.670,00
Kranhaken	2		172,00	344,00
<b>Ankersteile, wiedergewinnbar</b>				
Spannstahl 1,00 m verzinkt	70		5,10	357,00
Kombiplatte verzinkt	140		10,20	1.428,00
<b>Einrichtungstützen und Konsolen</b>				
Elementstütze mit Spindel (2,15-3,60m)	15		262,00	3.930,00
Gerüstkonsole inkl. Geländer	15		110,00	1.650,00
<b>Transportgestell</b>				
Transportbox für Schalungsteile	2		367,00	734,00
<b>Summe</b>		<b>187</b>		<b>83.325,00</b>

Tab. 23: Ermittlung des Neuwerts der Rahmenschalung

AV/Mo:  $83.325 \cdot 0,045 \cdot 0,60 = 2.249,78 \text{ €/Mo}$   
 Rep./Mo:  $83.325 \cdot 0,045 \cdot 0,70 = 2.624,74 \text{ €/Mo}$   
 Zwischensumme:  $= 4.874,51 \text{ €/Mo}$   
 Kleinteile, Verschleißteile, Holz (Annahme: 10 %):  $= 487,45 \text{ €/Mo}$  (=Materialkosten!)  
 Kosten der Wandschalung je Monat:  $= 5.361,96 \text{ €/Mo}$   
 = monatliche Vorhaltekosten

Anzahl der gewählten Schalungseinsätze je Monat: 5<sup>209</sup>

Daraus errechnet sich die geschalte Fläche je Monat zu:

$$5 \text{ Einsätze} \cdot 181,35 \text{ m}^2 = 906,75 \text{ m}^2$$

<sup>209</sup> Die Anzahl der Schalungseinsätze hat direkt Auswirkung auf die Schalungskosten, siehe dazu Anhang B.

Die Vorhaltekosten<sup>210</sup> werden wie folgt berechnet:

$$\frac{\text{Vorhaltekosten je Monat} \cdot \text{Vorhaltemonate}}{\text{geschalte Fläche je Mo}} = \frac{5.361,96 \text{ €/Mo}}{906,75 \text{ m}^2/\text{Mo}} = \mathbf{5,91 \text{ €/m}^2}$$

### Lohnkosten zufolge Wandschalung

Gewählter Aufwandswert für Schalungsarbeiten an Wänden:

$$AW = 0,47 \text{ h/m}^2 \text{ (aus Tab. 19)}$$

Daraus folgt folgende Lohnsumme:

$$2 \text{ Wandseiten} \cdot 0,47 \text{ h/m}^2 \cdot 90,68 \text{ m}^2 = 85,24 \text{ h}$$

Die Mittellohnkosten ergeben:

$$85,24 \text{ h} \cdot 37 \text{ €/h} = 3.153,85 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{3.153,85 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 34,78 \text{ €/m}^2$$

Im Grundriss des Schalungsplanes ist ersichtlich, dass vier Türen (b/h = 1,0/2,35 m), acht runde WDB Ø 13,5 cm und vier quadratische WDB 25/25 cm hergestellt werden müssen. Dazu müssen Aussparungskörper angefertigt werden. Dieser Lohnaufwand wird nun berechnet.

Die Fläche der Aussparungen (WDB) beträgt:

$$4 \cdot 1,0 \cdot 2,35 + 8 \cdot (0,5 \cdot 0,135)^2 \cdot \pi + 4 \cdot 0,25^2 = 9,80 \text{ m}^2$$

Gewählter Aufwandswert für Herstellen der WDB:

$$AW = 0,45 \text{ h/m}^2 \text{ (aus Tab. 18)}$$

Daraus folgt folgende Lohnsumme:

$$0,45 \text{ h/m}^2 \cdot 9,80 \text{ m}^2 = 4,41 \text{ h}$$

Die Mittellohnkosten ergeben:

$$4,41 \text{ h} \cdot 37 \text{ €/h} = 163,10 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{163,10 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 1,80 \text{ €/m}^2$$

Die gesamten Lohnkosten der Schalungsarbeiten inkl. Herstellen von WDB betragen:

$$34,78 + 1,80 = \mathbf{36,58 \text{ €/m}^2}$$

### Materialkosten der Bewehrung

Das Bewehrungsgewicht der STB-Wandscheibe wird nicht über den Bewehrungsgrad<sup>211</sup> bestimmt, sondern die Wand wird im Anschluss nach ÖN B 1992-1-1 – Mindestbewehrung bemessen. Das Gesamtgewicht setzt sich aus dem horizontalen und vertikalen

<sup>210</sup> In diesem Beispiel wurden die Vorhaltekosten nicht über die Vorhaltemonate berechnet, sondern über die Einsatzzahl je Monat, Betrachtungszeitraum ist daher ein Monat.

<sup>211</sup> Bewehrungsgrad  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] = Bewehrungsgewicht [kg] / Betonmenge [m<sup>3</sup>], mit diesem Kennwert kann die Bewehrungsmenge abgeschätzt werden.

Bewehrungsnetz beider Wandseiten, den Randeinfassungen bei den Türen und aus den Wandabstandshaltern zusammen. Anschlussbewehrung für den Knoten Decke - Wand wird der Decke hinzugerechnet und bleibt daher im Rahmen dieser Kalkulation unberücksichtigt.

Die vertikale Bewehrung für zwei Wandseiten beträgt:

$$A_{s,v, \min} = 0,002 \cdot \text{Betondruckfläche } A_c = 0,002 \cdot (25 \cdot 100) = 5 \text{ cm}^2/\text{m}; \text{ Wahl: } d \text{ 10/15,7}$$

Die horizontale Bewehrung für eine Wandseite wird nach Gleichung (1) oder (2) berechnet, wobei der größere Wert maßgebend ist.

$$(1) A_{s,h, \min} = 0,25 \cdot A_{s,v, \min} = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$(2) A_{s,h, \min} = 0,001 \cdot \text{Betondruckfläche } A_c = 0,001 \cdot (25 \cdot 100) = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (maßgebend)}$$

Vertikale + horizontale Mindestbewehrung für die gesamte Wandscheibe beträgt:

$$5 \text{ cm}^2/\text{m} + 2 \cdot 2,5 \text{ cm}^2/\text{m} = 10 \text{ cm}^2/\text{m}; \text{ Wahl je Seite: } d \text{ 10/15,7}$$

Umrechnung der Bewehrungsquerschnittsfläche je m aufs Flächengewicht je m<sup>2</sup>:

$$10 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 0,785^{212} = 7,85 \text{ kg}/\text{m}^2$$

m1 - Flächengewicht Bewehrung der Wandscheibe.

$$m1 = 90,68 \text{ m}^2 \cdot 7,85 \text{ kg}/\text{m}^2 = 711,84 \text{ kg}$$

Das auf die vier Türen entfallende Bewehrungsgewicht wurde nicht abgezogen, da angenommen wird, dass diese entfallende Bewehrung als Zulagen um die WDB vorgesehen wird.

m2 - 3-seitige U-Bügel als Randeinfassung bei den WDB:

Stabstahl-Durchmesser und Verlegeabstand:  $d \text{ 12/20}$

Länge der U-Bügel:  $l_g = 0,5+0,5+0,2 = 1,2 \text{ m}$

Laufmetergewicht von Stabstahldurchmesser 12 mm:  $g = 0,888 \text{ kg}/\text{m}$

Anzahl und Gewicht der Bügel:

$$m2 = \frac{4 \cdot (2,35 \cdot 2 + 1)}{0,20} = 114 \text{ Stk} \cdot (1,2 \cdot 0,888) = 121,98 \text{ kg}$$

m3 – Gewicht der Wandabstandshalter<sup>213</sup>.

Stabstahl-Durchmesser und gewählte Anordnung  $d8; 1 \text{ Stück pro m}^2$

Länge der Haken:  $l_g = 11+19+11 = 41 \text{ cm}$

Laufmetergewicht von Stabstahldurchmesser 8 mm:  $g = 0,395 \text{ kg}/\text{m}$

Anzahl und Gewicht der Bügel:

$$m3 = 90,68 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ Stk}/\text{m}^2 \approx 91 \text{ Stk} \cdot (0,41 \cdot 0,395) = 14,69 \text{ kg}$$

Summe der gesamten Bewehrung in der Wandscheibe:

$$m1 + m2 + m3 = 711,84 + 121,48 + 14,69 = 848,50 \text{ kg}$$

Mit dem Gesamtgewicht der Bewehrung lässt sich nun der Bewehrungsgrad folgendermaßen bestimmen:

$$\rho \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{\text{Gewicht der Bewehrung [kg]}}{\text{Betonmenge [m}^3]} = \frac{848,50}{(29,25 \cdot 3,10 \cdot 0,25)} = 37,43 \text{ kg}/\text{m}^3$$

<sup>212</sup> Umrechnungsfaktor von cm<sup>2</sup>/m auf kg/m<sup>2</sup>:  $0,785 = 7.850 \text{ [kg}/\text{m}^3] / 10.000$ .

<sup>213</sup> Die Wandabstandshalter garantieren einen fixen Abstand der Bewehrungslagen untereinander.

Preis für BST 550 ab Werk inkl. Dimensionsauflage für d= 8-12 mm:

$$723,33 \text{ €/to (aus Anhang C)}$$

Annahme für Transportkosten der Bewehrung: 400 € für Sattelzug mit max. 24 to Zuladung.

Für den Transportanteil werden Kosten von  $400 \text{ €} / 24 \text{ to} = 16,67 \text{ €/to}$  berücksichtigt.

Die Kosten der Bewehrung inkl. Transportanteil ergeben sich somit aus:

$$0,8485 \text{ to} \cdot (723,33 \text{ €/to} + 16,67 \text{ €/to}) = 627,89 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{627,89 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = \mathbf{6,92 \text{ €/m}^2}$$

Der Transportanteil beträgt:

$$\frac{0,8485 \text{ to} \cdot 16,67 \text{ €/to}}{90,68 \text{ m}^2} = \mathbf{0,16 \text{ €/m}^2}$$

### **Lohnkosten zufolge Bewehrungsarbeiten**

Es werden zwei Varianten der Lohnkostenberechnung von Bewehrungsarbeiten durchgeführt und kurz gegenübergestellt. Variante 1 betrifft die Verlegung durch das Eigenpersonal und bei Variante 2 verlegt ein Subunternehmer die Bewehrung.

#### Variante 1: Verlegung durch Eigenpersonal

Gewählter Aufwandswert für Bewehrungsarbeiten (alle Ø):

$$AW = 27,38 \text{ h/to (aus Tab. 20)}$$

Daraus folgt folgende Lohnsumme:

$$27,38 \text{ h/to} \cdot 0,8485 \text{ to} = 23,23 \text{ h}$$

Die Mittellohncosten ergeben:

$$23,23 \text{ h} \cdot 37 \text{ €/h} = 859,59 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{859,59 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 9,48 \text{ €/m}^2$$

#### Variante 2: Verlegung durch Subunternehmer

Damit die Verlegung nicht auf Regiestundenbasis erfolgt, sondern nach Gewicht, muss gewährleistet sein, dass der Subunternehmer zumindest 3.000 kg Bewehrung je Arbeitstag verlegen kann. Werden ausschließlich Wände betrachtet, so würde das für das vorliegende Beispiel bedeuten, dass 103,45 Laufmeter<sup>214</sup> Wände für die Verlegung bereitgestellt werden müssen. Da in diesem Beispiel nur ca. 30 Laufmeter Wände vorhanden sind und daher für diese weniger als 3.000 kg Bewehrung zu verlegen sind, wird für die weiterführende Kalkulation angenommen, dass parallel zu den Bewehrungsarbeiten der Wände andere Bauteile bewehrt werden (z.B. Decke, Brüstung, Stützen etc.). Damit wird angenommen, dass eine Verlegung von mind. 3.000 kg je Tag erreicht wird.

---

<sup>214</sup> errechnet mit  $\rho = 37,43 \text{ kg/m}^3$ ;  $V = 3,10 \cdot 0,25 \cdot 1 = 0,775 \text{ m}^3/\text{m}$ ;  $3.000 \text{ kg} / (0,775 \cdot 37,43) = 103,45 \text{ m}$

Preis für Verlegen Stabstahl d= 8-12 mm: 355 €/to (aus Anhang C)

Aufzahlung für Verlegen Stabstahl in Wänden: 120 €/to (aus Anhang C)

Die Lohnkosten des Subunternehmers ergeben somit:

$$0,8485 \text{ to} \cdot (355 + 120) \text{ €/to} = 403,04 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche ergibt dies:

$$\frac{403,04 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 4,44 \text{ €/m}^2$$

### Anmerkung:

Für beide Varianten wurde der gleiche Aufwandswert zugrundegelegt. Die Verlegung durch das Eigenpersonal wird aber i.A. mehr Zeit in Anspruch nehmen, weil das Eigenpersonal mit Bewehrungsarbeiten nicht so vertraut ist, wie es der Subunternehmer ist. Die Wahrscheinlichkeit ist daher gegeben, dass die Kosten von 9,48 €/m<sup>2</sup> übertroffen werden.

### **Materialkosten von Beton**

Folgender Beton wird beim Betonlieferanten bestellt: C 25/30 XC2 GK16 F52 CEM II 42,5N

Preis für 1 m <sup>3</sup> Beton, C 25/30 XC2, ab Werk	71,10 €/m <sup>3</sup> (siehe Anhang C)
AZ für GK 16	6,27 €/m <sup>3</sup> (siehe Anhang C)
AZ Konsistenzklasse F52	3,90 €/m <sup>3</sup> (siehe Anhang C)
Transportkosten (30 km)	7,50 €/m <sup>3</sup> (siehe Anhang C)
<u>Landschaftsabgabe (NÖ)</u>	<u>0,41 €/m<sup>3</sup> (Abschnitt 5.2.3)</u>
Summe:	89,18 €/m <sup>3</sup>

Das Volumen der Wandscheibe abzüglich Beton von vier Türen beträgt:

$$(29,25 \cdot 3,10 \cdot 0,25) - 4 \cdot (1 \cdot 2,35 \cdot 0,25) = 22,67 \text{ m}^3 - 2,35 \text{ m}^3 = 20,32 \text{ m}^3$$

Materialkosten von Beton ergeben:

$$20,32 \text{ m}^3 \cdot 89,18 \text{ €/m}^3 = 1.812,14 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche ergibt dies:

$$\frac{1.812,14 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 19,98 \text{ €/m}^2$$

### **Lohnkosten zufolge Betoneinbau**

Der Betoneinbau erfolgt mittels 750 Liter Krankübel.

Gewählter Aufwandswert für Betonieren Wände bis 5 m inkl. Zuschlag für Betonieren mittels Krankübel (+ 25 %) :

$$AW = 1,00 + 0,25 = 1,25 \text{ h/m}^3 \text{ (aus Tab. 18)}$$

Daraus folgt folgende Lohnsumme:

$$1,25 \text{ h/m}^3 \cdot 20,32 \text{ m}^3 = 25,40 \text{ h}$$

Die Mittellohnkosten ergeben:

$$25,40 \text{ h} \cdot 37 \text{ €/h} = 939,80 \text{ €}$$

<sup>215</sup> Prozentuell beträgt der Betonanteil der 4 Türen:  $100 / 22,67 \cdot 2,35 = 10,37 \text{ %}$ .

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{939,80 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 10,36 \text{ €/m}^2$$

Die Einzelkosten der Teilleistungen wurden für das angegebene Musterbeispiel getrennt nach Schalung, Bewehrung und Beton kalkuliert. Diese werden nun in Tab. 24 zusammengefasst.

<b>Schalung</b>	A1	Material + Gerätekosten	11,83 €/m <sup>2</sup>	48,41 €/m <sup>2</sup>
	A2	Lohn	36,58 €/m <sup>2</sup>	
<b>Bewehrung</b>	A3	Material	6,92 €/m <sup>2</sup>	11,36 €/m <sup>2</sup>
	A4	Lohn (Subunternehmer)	4,44 €/m <sup>2</sup>	
<b>Beton</b>	A5	Material	19,98 €/m <sup>2</sup>	30,34 €/m <sup>2</sup>
	A6	Lohn	10,36 €/m <sup>2</sup>	
<b>Summe</b>			<b>90,12 €/m<sup>2</sup></b>	<b>90,12 €/m<sup>2</sup></b>

Tab. 24: Zusammenfassung der Einzelkosten (Ortbetonwand)

Die Kostenverteilung in % für die berechnete Ortbetonwand wird in Abb. 5.18 dargestellt. Die größten Kosten werden demnach durch die Herstellung der Wandschalung (41 %) verursacht, gefolgt von den Materialkosten des Betons (22 %). Die Kosten für das Verlegen der Bewehrung fallen am geringsten aus (5 %), hier wurde in der Berechnung angenommen, dass durch Subunternehmer die Bewehrungsverlegung erfolgt.

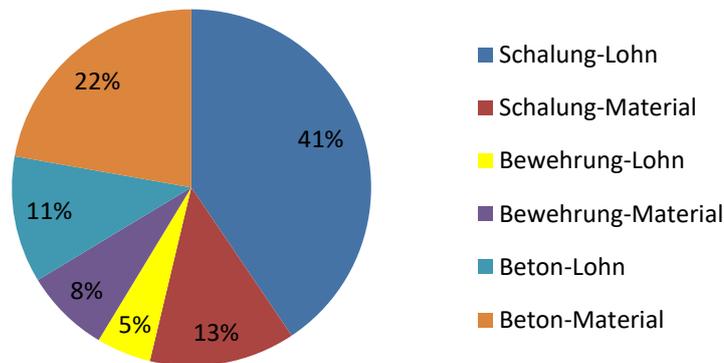


Abb. 5.18: Kostenverteilung der Ortbetonwand bei Bewehrungsverlegung durch Subunternehmer

In Abb. 5.19 ist die Kostenverteilung der berechneten Ortbetonwand dargestellt, bei welchem das Eigenpersonal die Bewehrungsverlegung übernimmt. Wie schon bei der vorangegangenen Lohnkostenberechnung ersichtlich, ist die Bewehrungsverlegung durch das Eigenpersonal wesentlich teurer (10 %), für das gegenständliche Beispiel um mehr als das Doppelte, verglichen mit der Bewehrungsverlegung durch den Subunternehmer.

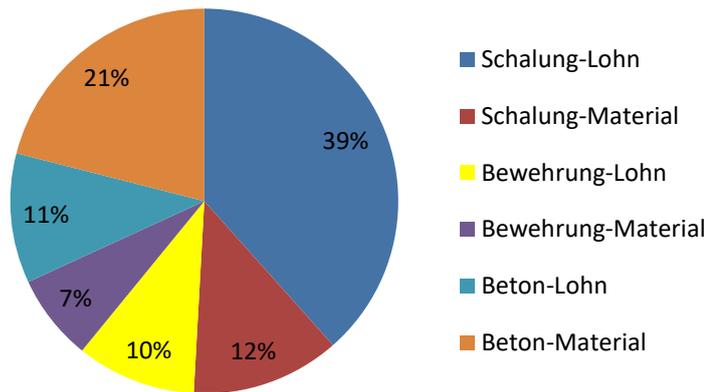


Abb. 5.19: Kostenverteilung der Ortbetonwand bei Bewehrungsverlegung durch Eigenpersonal

Nun werden die errechneten Einzelkosten formhalber in das K7-Blatt übertragen (Tab. 25), in welchem üblicherweise die vorangegangene Kalkulation durchgeführt wird. Im K7-Blatt ist die Bildung des Einheitspreises dargestellt. Der Einheitspreis setzt sich aus den zwei Anteilen Lohn und Sonstiges zusammen. Beispielsweise beträgt der Einheitspreis der Schalung 48,41 € / m<sup>2</sup> (= 36,58 + 11,83). Der Gesamtzuschlag ist nicht enthalten.

K7 Blatt - Preisermittlung		Projekt:		Seite:	
Pos-Nr, Menge, Einheit, Positionsstichwort Kostenentwicklung je Einheit	Menge/ AW	EH	Anteil Lohn [€/EH]	Anteil Sonstiges [€/EH]	Einheitspreis [€/EH]
In diesem K7- Blatt werden nur die Ergebnisse aus der Berechnung zusammengefasst					
<b>POS 07 25 632: Herstellen Stahlbetonwand, d=25cm inkl. Herstellen der Wanddurchbrüche</b>	<b>90,68</b>	<b>m2</b>			
<i>Schalung</i>	0,47 h/m2	m2	36,58	11,83	48,41
Berechnungsvorgang siehe Abschnitt 5.3.2					
<i>Bewehrung</i>	27,38 h/to	m2	4,44	6,92	11,36
Berechnungsvorgang siehe Abschnitt 5.3.2					
<i>Beton</i>	1 m3/h	m2	10,36	19,98	30,34
Berechnungsvorgang siehe Abschnitt 5.3.2					
<b>Summe</b>		<b>m2</b>	<b>51,38</b>	<b>38,73</b>	<b>90,11</b>

Tab. 25: Übersichtliche Darstellung des K7-Blatts (Ortbetonwand)

### 5.3.3 Kalkulation Hohlwand

Die Kalkulation wird analog nach dem vorherigen Abschnitt 5.3.2 vorgenommen. Da es sich um eine STB-Innenwand handelt, wird keine Aufkantung<sup>216</sup> vorgesehen. Der beispielhafte Bauablauf, beim Einsatz mit Hohlwänden, ist im Abschnitt 4.4.3 (Seite 72) beschrieben.

#### Materialkosten der Hohlwand

Aus Abb. 5.15 geht hervor, dass die Materialkosten der Hohlwand vom Plattenpreis und einer Reihe von teils systembedingten Aufzahlungen abhängig sind. Für das angegebene Musterbeispiel in Anhang A werden Kosten des Plattenpreises, der Aussparungen, der eingebauten und mitgelieferten Bewehrung, als Materialkosten zur Abrechnung gelangen. Deren Menge und Kosten werden nun bestimmt.

#### ◆ Hohlwand-Preis

Für die Hohlwandfläche wird vereinfachend die Wandansichtsfläche angenommen, obwohl bei horizontalen und vertikalen Hohlwandstößen Fugen von 1 – 3 cm vorhanden sind, wodurch die abrechenbare Hohlwandfläche geringer ausfällt, als die Fläche der Wandansicht. Der Fehler wird als vernachlässigbar angenommen.

$$\text{Hohlwandfläche} \approx \text{Wandansichtsfläche} = 90,68 \text{ m}^2$$

Preis für Hohlwand, d=25 cm, C 25/30 XC2, Schalenstärke 5 cm:

$$27,60 \text{ €/m}^2 \text{ (aus Anhang C)}$$

In den Hohlwänden werden die Aussparungen für WDB bereits werkseitig hergestellt. Aussparungskörper folgen lt. Schalungsplan aus Anhang A und deren Preise je Stück aus Anhang C. Die Berechnung erfolgt in Tab. 26. Bis 0,25 m<sup>2</sup> Aussparungsfläche und ab 2,0 m<sup>2</sup> sind dafür seitens der FT-Hersteller unterschiedliche Preise vorgesehen.

Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h	Fläche WDB je Stk	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]
4	1,0/2,35 m	2,35 m <sup>2</sup>	220,00	880,00
8	Rund, d= 0,135m	0,014 m <sup>2</sup>	22,25	178,00
4	0,25/0,25 m	0,063 m <sup>2</sup>	22,25	89,00
Summe		2,43 m <sup>2</sup>		1.147,00

Tab. 26: Kosten der Aussparungen in HW

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{1.147,00 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 12,65 \text{ €/m}^2$$

#### ◆ Transport

Die Transportkosten wurden anteilig der Hohlwandmengen im Anhang C ermittelt. Für eine Hohlwandmenge bis 100 m<sup>2</sup> betragen diese:

$$8,00 \text{ €/m}^2$$

<sup>216</sup> Hochführen einer Schale der Hohlwand, damit keine Randabschalung mehr erforderlich wird.

Diese Kosten werden am Ende der Berechnung zum Materialpreis der Hohlwand hinzugerechnet. Es wird angenommen, dass die Lieferungen der Fugenbewehrungskörbe in diesen Kosten inbegriffen sind.

### ◆ Bewehrung

#### eingebaute Bewehrung – Stabstahl:

erforderliche Bewehrung:

5,0 cm<sup>2</sup>/m je Seite horizontal + vertikal (aus Abschnitt 5.3.2 – Materialkosten der Bewehrung)

eingebaute Bewehrung:

Die Menge der eingebauten Bewehrung ist aufgrund der Plattengeometrie und der daraus folgenden Bewehrungsstufen (fertigungstechnische Gründe) größer als die erforderliche Bewehrung lt. Statiker. Um dieses Mehrgewicht genau zu bestimmen, wurde bei einem FT-Hersteller eigens dafür eine Werkszeichnung (siehe Anhang E) angefertigt. Ein Aufmaßblatt (Anhang E) der Abrechnungspositionen wurde übermittelt, aus dem das einzubauende Stahlgewicht hervorgeht. Aus diesem wurde errechnet, dass 13,9 %<sup>217</sup> mehr Stabstahl-Bewehrung vorgesehen ist, als notwendig wäre.

Das Gewicht der eingebauten Bewehrung (ohne Gitterträger) beträgt laut Aufmaßblatt:

$$191,19 \text{ kg} + 335,09 \text{ kg} + 150,71 \text{ kg} + 44,80 \text{ kg} = 721,78 \text{ kg}^{218} \text{ (aus Anhang E)}$$

Der Preis von eingebautem, geschnittenem und gebogenem Stabstahl beträgt:

$$1.225 \text{ €/to (aus Anhang C)}$$

Die gesamten Kosten des eingebauten Stabstahls belaufen sich auf:

$$1.225 \text{ €/to} \cdot 0,722 \text{ to} = 884,18 \text{ €}$$

Diese bezogen auf die Wandansichtsfläche ergeben:

$$\frac{884,18 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 9,75 \text{ €/m}^2$$

#### eingebaute Bewehrung – Gitterträger:

Folgende Angaben wurden durch einen FT-Hersteller bekanntgegeben, damit das Gewicht der Gitterträger wie folgt abgeschätzt werden kann:

- Bei der HW mit 25 cm Wandstärke wird ein 18 cm hoher Gitterträger eingebaut mit Untergurt = 6 mm, Obergurt = 8 mm und Diagonale = 6 mm.
- Laufmetergewicht der Gitterträger beträgt 1,852 kg/lfm.
- Achsabstand der Gitterträger untereinander beträgt 50 cm.

Mit diesen Angaben lassen sich nun die Anzahl der Gitterträger und deren Gewicht berechnen. Auf eine Wandlänge von 29,25 m ergeben sich  $29,25 / 0,5 = 60$  Stk Gitterträger, deren Längen der Wandhöhe von 3,10 m entsprechen.

Das Gesamtgewicht der Gitterträger beträgt:

$$60 \text{ Stk} \cdot 3,10 \text{ m} \cdot 1,852 \text{ kg/lfm} = 344,47 \text{ kg}$$

<sup>217</sup> Siehe dazu Anhang E.

<sup>218</sup> Flächenbezogenes Gewicht von Stabstahl:  $721,78 \text{ kg} / 90,68 \text{ m}^2 = 7,96 \text{ kg/m}^2$ .

Von diesem Gewicht müssen jene Gitterträger abgezogen werden, welche sich im Bereich der vier Türen ( $b / h = 1,0 / 2,35 \text{ m}$ ) befinden,

$$4 \text{ Türen} \cdot 3 \text{ GTR je Türe} \cdot 2,35 = 28,20 \text{ lfm} \cdot 1,852 \text{ kg/lfm} = 52,23 \text{ kg}$$

Damit verbleibt das Gewicht der Gitterträger mit:

$$344,47 \text{ kg} - 52,23 \text{ kg} = 292,25 \text{ kg}^{219}$$

Wird das Gewicht der Gitterträger zur Stabstahlbewehrung aufaddiert, dann beträgt die prozentuelle Mehrbewehrung (Berechnung analog Anhang E):

$$\frac{721,78 + 292,25 \text{ kg}}{633,65 \text{ kg}} \cdot 100 = 160,03 \%^{220} \rightarrow 60 \% \text{ Mehrbewehrung!}$$

Der Preis der Gitterträger beträgt:

$$1.275 \text{ €/to (aus Anhang C)}$$

Die gesamten Gitterträger in der HW kosten:

$$1.275 \frac{\text{€}}{\text{to}} \cdot 0,29225 \text{ to} = 372,61 \text{ €}$$

Die Kosten der Gitterträger bezogen auf die Wandansichtsfläche errechnen sich zu:

$$\frac{372,61 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 4,11 \text{ €/m}^2$$

### eingebaute Bewehrung – Bewehrungskörbe:

In der Hohlwand werden i.A. geschweißte Körbe bereits werkseitig eingebaut. Bei den WDB (Türen) z.B. werden diese auf drei Seiten (freie Ränder) eingebaut. Das Gewicht der Körbe wird von der Kalkulation der Ortbetonbauweise ( $m^2 = 121,98 \text{ kg}^{221}$ ) übernommen (siehe dazu Abschnitt 5.3.2 - A3), da dies dann vergleichbar wird. Die FT-Hersteller sehen nämlich, wenn die Statik es erlaubt, eigene vorproduzierte Körbe mit definierten Bügelabmessungen vor.

Der Preis der eingebauten Körbe beträgt:

$$1.548 \text{ €/to (aus Anhang C)}$$

Die gesamten eingebauten Körbe in der HW kosten:

$$1.548 \text{ €/to} \cdot 0,12198 \text{ to} = 188,83 \text{ €}$$

Die Kosten der Gitterträger bezogen auf die Wandansichtsfläche errechnen sich zu:

$$\frac{188,83 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 2,08 \text{ €/m}^2$$

### mitgelieferte Bewehrung – (geschweißte) Fugenbewehrung:

Anzahl und Art der Fugen wurde aus dem Aufteilungsplan (Anhang D) entnommen. Folgende Informationen wurden aus einem Hohlwand-Montageplan eines FT-Herstellers herausgelesen:

- Korbhöhe = 2,40 m; i.d.R. d8/15
- Gewicht: T-Korb: 24,82 kg je Stk; I-Korb: 12,65 kg je Stk; L-Korb: 22,84 kg je Stk

<sup>219</sup> Das Gewicht der Gitterträger beträgt nach Vorlage der Werkszeichnung lt. Anhang E 282,15 kg, daher konnte ausreichend genau dieses Gewicht im Vorfeld mit 292,25 kg abgeschätzt werden.

Flächenbezogenes Gewicht der Gitterträger:  $292,25 \text{ kg} / 90,68 \text{ m}^2 = 3,22 \text{ kg/m}^2$ .

<sup>220</sup> Prozentuelle Mehrbewehrung der Gitterträger:  $60,03 \% - 13,9 \% = 46,13 \%$ .

<sup>221</sup> flächenbezogenes Gewicht der Bewehrungskörbe:  $121,98 \text{ kg} / 90,68 \text{ m}^2 = 1,345 \text{ kg/m}^2$

Mithilfe des Aufteilungsplans der Hohlwand (Anhang D) und den zuvor angeführten Informationen wird das Gesamtgewicht der Fugenbewehrung nach Tab. 27 berechnet.

Fugenart	Gesamt-lfm = Anzahl·Höhe [m]	Anzahl Körbe [Stk]	Gesamtgewicht[kg]
T-Fuge	$4 \cdot 3,10 = 12,40$	$12,40/2,40 = 6$	$6 \cdot 24,82 = 148,92$
I-Fuge	$3 \cdot 3,10 = 9,30$	$9,30/2,40 = 4$	$4 \cdot 12,65 = 50,60$
L-Fuge	$1 \cdot 3,10 = 3,10$	$3,10/2,40 = 2$	$2 \cdot 22,84 = 45,68$
Summe			245,20 <sup>222</sup>

Tab. 27: Gesamtgewicht der Fugenbewehrung

Der Preis der mitzuliefernden Fugenbewehrung beträgt:

$$1.350 \text{ €/to (aus Anhang C)}$$

Die gesamte mitzuliefernde Fugenbewehrung kostet:

$$1.350 \text{ €/to} \cdot 0,2452 \text{ to} = 331,02 \text{ €}$$

Die Kosten der Fugenbewehrung bezogen auf die Wandansichtsfläche errechnen sich zu:

$$\frac{331,02 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 3,65 \text{ €/m}^2$$

### Materialkosten - Kernbeton der Hohlwand

Die betroffene Hohlwand ist lt. Schalungsplan 3,10 m hoch (siehe Anhang A). Auf eine Höhe von ca. 30 cm ab der Aufstandsfläche der Hohlwände soll GK 8 verwendet werden. Auf der restlichen Höhe ( $3,10 - 0,30 = 2,80 \text{ m}$ ) wird GK 16 verwendet. Die Schalenstärke der Hohlwand beträgt 5 cm.

Volumen von 15 cm (=  $25 - 2 \cdot 5 \text{ cm}$ ) Kernbeton GK 8 abzüglich Kernbeton bei vier Türen  $b / h = 1,0 / 2,35 \text{ m}$  beträgt:

$$(29,25 \cdot 0,30 \cdot 0,15) - 4 \cdot (1 \cdot 0,30 \cdot 0,15) = 1,32 - 0,18 = 1,14 \text{ m}^3 \text{ }^{223}$$

Volumen von 15 cm Kernbeton GK 16 abzüglich Kernbeton bei vier Türen  $b / h = 1,0 / 2,35 \text{ m}$  beträgt:

$$(29,25 \cdot 2,80 \cdot 0,15) - 4 \cdot (1 \cdot 2,05 \cdot 0,15) = 12,29 - 1,23 = 11,06 \text{ m}^3 \text{ }^{224}$$

Die Betonpreise inkl. Transportkosten und Landschaftsabgabe lauten für:

C 25/30 XC2 GK8 F52 CEM II 42,5N                      102,11 €/m<sup>3</sup> (siehe Anhang C)

C 25/30 XC2 GK16 F52 CEM II 42,5N                      89,19 €/m<sup>3</sup> (siehe Anhang C)

Materialkosten des Kernbetons ergeben:

$$1,14 \text{ m}^3 \cdot 102,11 \text{ €/m}^3 + 11,06 \text{ m}^3 \cdot 89,19 \text{ €/m}^3 = 1.101,91 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche ergibt dies:

$$\frac{1.101,91 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 12,15 \text{ €/m}^2$$

<sup>222</sup> Flächenbezogenes Gewicht der Fugenkörbe:  $245,20 \text{ kg} / 90,68 \text{ m}^2 = 2,704 \text{ kg/m}^2$ .

<sup>223</sup> Volumen je lfm Wand beträgt:  $1,14 \text{ m}^3 / 29,25 \text{ m} = 0,03897 \text{ m}^3 \text{ GK8 je lfm Wand}$ .

<sup>224</sup> Volumen je lfm Wand beträgt:  $11,06 \text{ m}^3 / 29,25 \text{ m} = 0,3781 \text{ m}^3 \text{ GK16 je lfm Wand}$ .

### Lohnkosten zufolge Versetzarbeiten

Die zu versetzende Hohlwandfläche beträgt 90,68 m<sup>2</sup> (siehe 5.3.3 - B1). Nach dem Aufteilungsplan (siehe Anhang D) sind sieben Stück Hohlwandelemente zu versetzen. Dafür wird eine Montagekolonne von vier Mann vorgesehen. Aufwandswerte in h/m<sup>2</sup> werden nicht herangezogen. Stattdessen werden Aufwandswerte in Stunden je Element [h/EL] als Grundlage herangezogen.

Dabei wurden vom Autor am 20.02.2018 Zeitmessungen betreffend den Vorbereitungs- und Montagearbeiten bei Hohlwänden durchgeführt. Das Protokoll der Zeitmessung ist im Anhang F ersichtlich. Aus diesen konnten Aufwandswerte rückgerechnet werden und daraus Annahmen für die Kalkulation getroffen werden. In Tab. 28 werden die vom Autor abgeleiteten Zeitaufwandswerte mit anderen Quellen verglichen. Hübsch<sup>225</sup> hatte in seiner Diplomarbeit ebenfalls aus Zeitmessungen einen Aufwandswert für den Versetzvorgang von 1,07 h/EL ermittelt. Fa. Syspro@PART<sup>226</sup> gibt im eigenen Handbuch den Gesamtaufwand ohne Betonieren mit 0,30 h/EL an. Dies entspricht etwa eine Leistung von LW = 1 / AW = 1 / 0,30 = 3,33 EL/h.

Tätigkeit	Einheit	Autor	Hübsch	SysproPART
Arbeitsvorbereitung	h/EL	0,36	0,20	-
Versetzvorgang	h/EL	1,57	1,07	-
Sonstiges	h/EL	0,42	-	-
Summe	h/EL	2,35	-	0,30

Tab. 28: Vergleich der Aufwandswerte

Die in Tab. 29 angeführten Aufwandswerte AW stammen aus Anhang F. Es wurde lediglich der Aufwandswert für den Versetzvorgang mit 1,50 h/EL angenommen, aufgrund des Einarbeitungseffektes.

Tätigkeit	AW [h/EL]	Elementanzahl [EL]	Lohnsumme [h]	MLK [€/h]	Lohn [€]
Arbeitsvorbereitung	0,36	7	0,36·7 = 2,52	37	93,24
Versetzvorgang	1,50	7	1,50·7 = 10,50	37	388,50
Sonstiges	0,42	7	0,42·7 = 2,94	37	108,78
Summe	2,28	-	15,19	-	590,52

Tab. 29: Ermittlung Lohnanteil Versetzarbeiten bei Hohlwänden

Lohnkosten umgelegt auf die Wandansichtsfläche ergeben:

$$\frac{590,52 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 6,51 \text{ €/m}^2$$

### Lohnkosten zufolge Betonierarbeiten

Die angenommene Betonier-Kolonnen besteht aus drei Mann. Das Betonieren der Hohlwand erfolgt mit einem 750 l Krankübel. Bezüglich der Steiggeschwindigkeit gab ein FT-Hersteller

<sup>225</sup> Hübsch M.J.: Diplomarbeit : Weiße Wannen – Ein technischer und wirtschaftlicher Vergleich von Ortbeton- und Elementwänden, TU-Wien, 2016.

<sup>226</sup> Vgl. SysproPART: Die Technik zur Wand - Wie wird's gemacht? – 1. Auflage, Okt. 1997, S.121.

an, dass die zulässige Steiggeschwindigkeit im Regelfall 1 m je Stunde nicht übersteigen darf. Das heißt, die 3,10 m hohe Wand wird in drei Schüttilagen betoniert.

Volumen des Kernbetons beträgt:

$$11,06 \text{ m}^3 + 1,14 \text{ m}^3 = 12,19 \text{ m}^3 \quad (\text{aus 5.3.3 - B2})$$

Gewählter AW fürs Betonieren (inkl. Vornässen, Einbringen, Verdichten, Nachbehandlung):

$$AW = 1,00 \text{ m}^3/\text{h}^{227}$$

Daraus folgt folgende Lohnsumme:

$$1,00 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 12,19 \text{ m}^3 = 12,19 \text{ h}$$

Die Mittellohncosten ergeben:

$$12,19 \text{ h} \cdot 37 \text{ €/h} = 451,08 \text{ €}$$

Umgelegt auf die Wandansichtsfläche bedeutet dies:

$$\frac{451,08 \text{ €}}{90,68 \text{ m}^2} = 4,97 \text{ €/m}^2$$

Die Einzelkosten bezüglich der Herstellung von Hohlwänden wurden somit berechnet. Die Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt in Tab. 30.

Hohlwand inkl. Transport	B1	35,60 €/m <sup>2</sup>	System Hohlwand	48,25 €/m <sup>2</sup>
Mehrstärke	B1	0,00 €/m <sup>2</sup>		
Aussparungen	B1	12,65 €/m <sup>2</sup>		
Bewehrung - Stabstahl, eingebaut	B1	9,75 €/m <sup>2</sup>	Anteil Bewehrung	19,59 €/m <sup>2</sup>
Bewehrung - Gitterträger, eingebaut	B1	4,11 €/m <sup>2</sup>		
Bewehrung - Körbe, eingebaut	B1	2,08 €/m <sup>2</sup>		
Fugenbewehrung, mitgeliefert	B1	3,65 €/m <sup>2</sup>		
Materialkosten Kernbeton	B2	12,15 €/m <sup>2</sup>	Materialanteil Beton	12,15 €/m <sup>2</sup>
Lohnkosten Montage	B3	6,51 €/m <sup>2</sup>	Lohnanteil	11,49 €/m <sup>2</sup>
Lohnkosten Betonage	B4	4,97 €/m <sup>2</sup>		
Einheitskosten 1 m <sup>2</sup> HW		91,48 €/m <sup>2</sup>	Summe:	91,48 €/m <sup>2</sup>

Tab. 30: Zusammenfassung der Einzelkosten (Hohlwand)

In Abb. 5.20 wird die Kostenverteilung in % für die berechnete Hohlwand dargestellt. Aus dieser geht hervor, dass fast 40 % der Einheitskosten aus Hohlwand inkl. Transport bestehen. Mit 14 % der Einheitskosten sind Aussparungen, einer der führenden Kostenbestandteile, gefolgt von den Materialkosten des Kernbetons mit 13 %, welche fast ähnlich hoch sind, wie die des eingebauten Stabstahls. Die Lohnanteile von Montage und Betonage sind mit 5 % bzw. 7 % ähnlich hoch. Die Gitterträger übernehmen einen Anteil von 5 %. Die Kosten für die Bewehrungskörbe und der Fugenbewehrung fallen mit 2 % bzw. 4 % am geringsten aus.

<sup>227</sup> Vgl. SysproPART: Die Technik zur Wand - Wie wird's gemacht? – 1. Auflage, Okt. 1997, S.122.

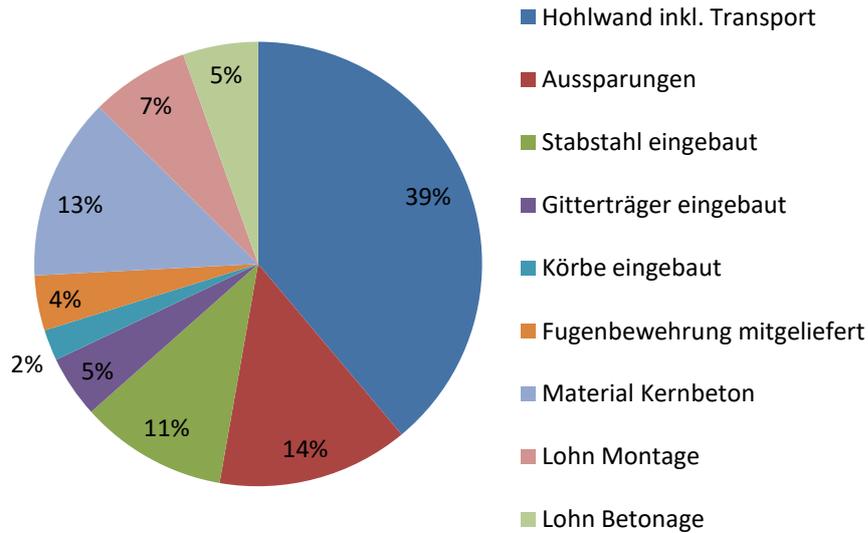


Abb. 5.20: Kostenverteilung der Hohlwand

Die berechneten Einzelkosten aus Tab. 30 werden wiederum formhalber ins K7-Blatt übertragen. Dies wird in Tab. 31 durchgeführt. Dazu gelten analog die Bemerkungen, welche für Tab. 25 (Seite 115) angeführt wurden.

K7 Blatt - Preisermittlung		Projekt:		Seite:	
Pos-Nr, Menge, Einheit, Positionsstichwort Kostenentwicklung je Einheit	Menge/ AW	EH	Anteil Lohn [€/EH]	Anteil Sonstiges [€/EH]	Einheitspreis [€/EH]
In diesem K7- Blatt werden nur die Ergebnisse aus der Berechnung zusammengefasst					
<b>POS 07 25 640: Hohlwand, d = 25 cm inkl. Herstellen der Wanddurchbrüche</b>	<b>90,68</b>	<b>m2</b>			
<i>Hohlwand, d=25cm inkl. Bewehrung + Montage</i>	2,28 h/EL	m2	6,51	67,84	<b>74,35</b>
Berechnungsvorgang siehe Abschnitt 5.3.3					
<i>Kernbeton, d=15cm + Betonage</i>	1 m3/h	m2	4,97	12,15	<b>17,12</b>
Berechnungsvorgang siehe Abschnitt 5.3.3					
<b>Summe</b>		<b>m2</b>	<b>11,48</b>	<b>79,99</b>	<b>91,47</b>

Tab. 31: Übersichtliche Darstellung des K7-Blatts (Hohlwand)

### 5.3.4 Kalkulativer Verfahrensvergleich

In den Abschnitten 5.3.2 und 5.3.3 wurden beispielhaft mithilfe der Kalkulationsannahmen aus Abschnitt 0 die Einzelkosten einer Ortbetonwand und die der Hohlwand für ein konkretes Beispiel berechnet. Aufbauend zu diesen Berechnungen wird nun ein Verfahrensvergleich abhängig von der zu betonierenden Fläche durchgeführt.

#### Methodik

Mithilfe den Materialpreisen aus Anhang C wird ein Gesamtkostenverlauf der Ortbetonwand und der Hohlwand, in Abhängigkeit der Menge, erstellt. Bei der Berechnung der Ortbetonwand variieren die Transportkosten der Bewehrung und die Materialkosten des Betons (siehe dazu Anhang C). Bei der Kalkulation der Hohlwand sind der Plattenpreis der Hohlwand, die Wandaussparungen, die eingebaute Bewehrung, bestehend aus Stabstahl, Gitterträger, Körbe, die mitgelieferte Bewehrung und die Materialkosten des Kernbetons, die veränderlichen Parameter (siehe Anhang C). Im Rahmen dieser Berechnung wird, sofern vorhanden, die Wirtschaftlichkeitsgrenze (Break-Even-Point - BEP) ermittelt, also jener Punkt, ab dem sich ein Bauverfahren womöglich wirtschaftlicher erweist, als das andere. Dazu werden ausgehend von den Berechnungsergebnissen Gesamtkostenverläufe beider Bauverfahren erstellt, deren Schnittpunkt die Wirtschaftlichkeitsgrenze ist.

Beim Einarbeitungseffekt (ausschlaggebend für Lohnanteil) wurde angenommen, dass die der Berechnung zu Grunde liegenden Aufwandswerte (siehe Tab. 32) Grundwerte nach Einarbeitung sind, weshalb sich der Lohnanteil konstant über die Menge entwickelt.

	Tätigkeit	AW	Quelle
Ort- beton	Schalen	0,47 h/m <sup>2</sup>	Tab. 19
	Bewehren	27,38 h/to	Tab. 20
	Betonieren	1,0 m <sup>3</sup> /h	Tab. 18
Hohl- wand	HW-Montage	2,28 h/EL	Tab. 29
	HW-Betonage	1,0 m <sup>3</sup> /h	5.3.3 – B4

Tab. 32: gewählte AW für den Verfahrensvergleich

Das Ergebnis dieser Berechnung ist abhängig von den gewählten Angaben und Rahmenbedingungen und kann als Unterstützung bei der Auswahl des Verfahrens verwendet werden. Schlussendlich muss jedoch bei veränderten Rahmenbedingungen dementsprechend adaptierte Berechnungen durchgeführt werden.

In Tab. 33 wird der Gesamtkostenverlauf der Ortbetonwand tabellarisch ermittelt, wobei die Berechnung auf Abschnitt 5.3.2 (Seite 108) aufbaut. Folgende Anmerkungen und Berechnungshinweise werden zu Tab. 33 gegeben:

- ◆ Die Lohnkosten der Schalung und die Material- und Gerätekosten der Schalung entstammen aus Abschnitt 5.3.2. Die Vorhaltekosten werden aufgrund fehlender Randbedingungen (Bauzeit, Vorhaltemenge,...) als konstant angenommen.
- ◆ Die Lohnkosten zufolge Bewehrungsarbeiten und die Materialkosten der Bewehrung wurden aus Abschnitt 5.3.2 entnommen. Diese sind bei zunehmender Bewehrungsmenge konstant, da keine Preisminderungen bei zunehmender Bewehrungsmenge vorliegen (siehe Anhang C).
- ◆ Transportkosten der Bewehrung wurden berücksichtigt (siehe dazu Anhang C). Diese wurden konstant bewertet, also volle Transporte wurden angenommen. Eine Wandansichtsfläche von 50 m<sup>2</sup> ergibt eine sehr geringe Bewehrungsmenge, wobei dann der Transportanteil unrealistisch hoch werden würde. Nach Befragung einiger Baufirmen, konnte festgestellt werden, dass volle Transporte der Realität entsprechen. Sollten geringe Bewehrungsmengen für Wände nötig werden, dann wird i.d.R. Bewehrung für andere Bauteile (z.B. Stützen, Decken, Brüstungen etc.) mitbestellt, um eben die Transportkosten so niedrig wie möglich zu halten.
- ◆ Der Lohnanteil der Betonierarbeiten folgt aus Abschnitt 5.3.2. Die Materialpreise des Betons folgen aus linearer Interpolation der Materialpreise aus Anhang C.
- ◆ Die Betonkubatur wurde um 10,37 % aufgrund der Wanddurchbrüche (Türen) abgemindert (siehe dazu die Fußzeile Nr.215 in Abschnitt 5.3.2).
- ◆ Die Materialkosten von Beton wurden aus Anhang C entnommen.
- ◆ Der Transportanteil des Lieferbetons für 50 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche, welcher mengenunabhängig konstant angenommen wurde, ist folgendermaßen berechnet worden:

$$\frac{\text{Transportkosten} \cdot \text{Kernbetonvolumen}}{\text{Wandansichtsfläche}} = \frac{7,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 11,20 \text{ m}^3}{50 \text{ m}^2} = 1,68 \text{ €/m}^2$$

## Gesamtkostenverlauf der Ortbetonwand

STAHLBETONWAND, d= 25cm										
Wandansichtsfläche	[m <sup>2</sup> ]	50	100	200	500	1.000	2.500	5.000	10.000	30.000
<b>Einzelkosten Schalung</b>										
Lohnkosten	[€/m <sup>2</sup> ]	36,58	36,58	36,58	36,58	36,58	36,58	36,58	36,58	36,58
Material- und Gerätekosten	[€/m <sup>2</sup> ]	11,83	11,83	11,83	11,83	11,83	11,83	11,83	11,83	11,83
<b>Einzelkosten Bewehrung</b>										
Lohnkosten	[€/m <sup>2</sup> ]	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Materialkosten	[€/m <sup>2</sup> ]	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77
Transport	[€/m <sup>2</sup> ]	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
<b>Einzelkosten Beton</b>										
Lohnkosten	[€/m <sup>2</sup> ]	10,36	10,36	10,36	10,36	10,36	10,36	10,36	10,36	10,36
Betonkubatur	[m <sup>3</sup> ]	11,20	22,41	44,82	112,04	224,08	560,19	1.120,38	2.240,75	6.722,25
Betonpreis C 25/30 XC2 GK16 F52	[€/m <sup>3</sup> ]	81,69	81,69	81,61	80,04	79,87	78,26	77,06	76,85	75,56
Materialkosten	[€/m <sup>2</sup> ]	18,30	18,30	18,29	17,93	17,90	17,54	17,27	17,22	16,93
Transport	[€/m <sup>2</sup> ]	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
<b>Gesamt-Einzelkosten</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	<b>90,12</b>	<b>90,12</b>	<b>90,10</b>	<b>89,75</b>	<b>89,71</b>	<b>89,35</b>	<b>89,08</b>	<b>89,03</b>	<b>88,74</b>

Tab. 33: Gesamtkostenverlauf Ortbetonwand

Das Ergebnis der Berechnung des Gesamtkostenverlaufs des zweiten Bauverfahrens, der Hohlwand, ist in Tab. 34 ersichtlich. Zu Tab. 34 werden folgende Anmerkungen und Berechnungshinweise angeführt:

- ◆ Aus Anhang C wurde Materialpreis ab Werk der Hohlwand entnommen.
- ◆ Die Transportkosten und deren Berechnung stammen aus Anhang C.
- ◆ Auf 100 m<sup>2</sup> Hohlwand fallen vier große, acht runde kleine und acht eckige kleine Wanddurchbrüche an. Auf die anderen Hohlwandflächen wurden diese linear interpoliert. Die Berechnung der Kosten der Aussparungen wurde im Anhang G durchgeführt.
- ◆ Das Gewicht der Bewehrung (Stabstahl, Gitterträger, Körbe und Fugenbewehrung) wurde auf die Wandansichtsfläche (90,68 m<sup>2</sup>) umgelegt. Dies erfolgte im Abschnitt 5.3.3. Die Materialpreise der Bewehrung nehmen mit zunehmender Hohlwandfläche ab (siehe Anhang C).
- ◆ Die Berechnung des Lohnanteils der Montage erfolgt analog wie im Abschnitt 5.3.3. Demnach ist für den Lohnanteil die Elementanzahl der Hohlwände maßgebend. Es wird angenommen, dass acht Stück Hohlwandelemente je 100 m<sup>2</sup> Hohlwandfläche bilden.
- ◆ Die Lohnkosten der Betonage wurden analog nach Abschnitt 5.3.3 berechnet.
- ◆ Die Berechnung der Materialkosten des Kernbetons wurde in Anhang H erläutert und vorgenommen.

## Gesamtkostenverlauf der Hohlwand

HOHLWAND, d= 25cm										
Wandansichtsfläche	[m <sup>2</sup> ]	50	100	200	500	1.000	2.500	5.000	10.000	30.000
<b>System Hohlwand</b>										
Hohlwand ab Werk	[€/m <sup>2</sup> ]	28,10	27,60	27,00	26,85	26,50	26,30	26,00	25,35	24,70
Transportanteil	[€/m <sup>2</sup> ]	8,00	8,00	8,00	6,40	6,40	6,24	6,16	6,16	6,16
Aussparungen	[€/m <sup>2</sup> ]	11,73	11,47	10,86	10,46	9,71	9,11	8,71	8,50	8,42
Bewehrung Stabstahl eingebaut	[€/m <sup>2</sup> ]	9,87	9,75	9,75	9,35	9,23	8,96	8,84	8,76	8,76
Bewehrung Gitterträger eingebaut	[€/m <sup>2</sup> ]	4,15	4,11	4,11	3,94	3,90	3,78	3,74	3,70	3,70
Bewehrung Körbe eingebaut	[€/m <sup>2</sup> ]	2,12	2,08	2,08	2,03	2,02	1,97	1,91	1,88	1,88
Fugenbewehrung mitgeliefert	[€/m <sup>2</sup> ]	3,69	3,65	3,65	3,58	3,54	3,52	3,47	3,45	3,45
Lohnkosten Montage	[€/m <sup>2</sup> ]	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75
<b>Beton</b>										
Lohnkosten Betonage	[€/m <sup>2</sup> ]	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98
Materialkosten Kernbeton	[m <sup>3</sup> ]	12,16	12,16	12,16	12,11	11,96	11,87	11,71	11,57	11,51
<b>Gesamt-Einzelkosten</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	<b>91,55</b>	<b>90,55</b>	<b>89,34</b>	<b>86,46</b>	<b>84,99</b>	<b>83,47</b>	<b>82,27</b>	<b>81,09</b>	<b>80,30</b>

Tab. 34: Gesamtkostenverlauf Hohlwand

### Grafische Darstellung der Gesamtkostenverläufe und Bestimmung des BEP

In Tab. 33 und Tab. 34 wurde der Gesamtkostenverlauf der Ortbetonwand und der Hohlwand berechnet. In Abb. 5.21 werden nun diese Kostenverläufe grafisch gegenübergestellt, um den Break-Even-Point – BEP zu bestimmen. In Abb. 5.21 verläuft der Kostenverlauf von der Ortbetonwand bis ca. 200 m<sup>2</sup> konstant. Die Ortbetonwand wird ab 200 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche mit zunehmender Wandfläche geringfügig billiger. Dies resultiert nur aufgrund des geringeren Materialpreises von Beton bei fortschreitender Menge. Beim Kostenverlauf der Hohlwand hingegen existieren aufgrund von mengenabhängigen Materialpreisen mehrere veränderliche Parameter, wie etwa die Hohlwand inkl. Transport, die gesamte Bewehrung und schlussendlich der Kernbeton. Deren Materialpreise sinken bei zunehmender Menge, welche sich insgesamt durch den Abfall des Verlaufs in Abb. 5.21 bemerkbar machen.

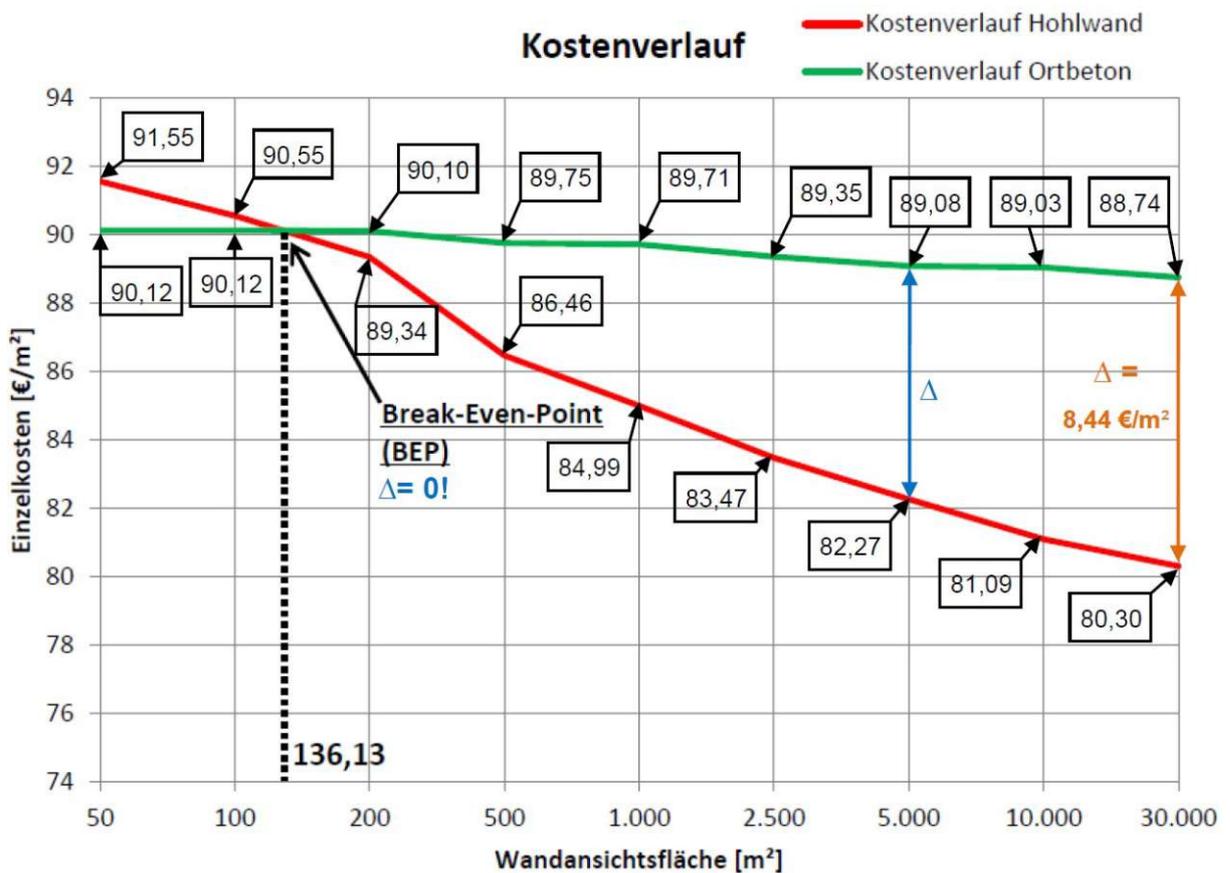


Abb. 5.21: grafische Darstellung der Gesamtkostenverläufe und Lage BEP

Der Break-Even-Point wird folgendermaßen bestimmt:

Der Break-Even-Point ist an jener Stelle, an der die absolute Kostendifferenz vergleichender Bauverfahren gleich Null ist. Es gilt also:

$$\Delta = K_1 - K_2 = 0 \leftrightarrow K_1 = K_2$$

Das heißt, die Wirtschaftlichkeitsgrenze wird ermittelt, indem die Funktionen der Kostenverläufe gleichgesetzt werden. Bei dem vorliegenden Beispiel handelt es sich um eine Aneinanderreihung linearer Funktionen, die Gleichung einer linearen Funktion lautet ganz allgemein:

$$y = k \cdot x + d, \quad \text{wobei } k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \text{ die Steigung ist und}$$

$d$  = y-Wert vom Schnittpunkt des Graphen mit der y-Achse.

Es wird für die Berechnung der Bereich der x-Achse von  $x = 100$  bis  $x = 200$  betrachtet. Dazugehörige y-Werte siehe Abb. 5.21. Auf das gegenständliche Beispiel lauten die Gleichungen:

$$y_1 = k_1 \cdot x + d_1 \text{ (Funktion der Ortbetonwand)}$$

$$k_1 = \frac{90,10 - 90,12}{200 - 100} = -0,0002$$

$$d_1 = 90,12$$

$$y_1 = -0,0002 \cdot x + 90,12$$

$$y_2 = k_2 \cdot x + d_2 \text{ (Funktion der Hohlwand)}$$

$$k_2 = \frac{89,34 - 90,55}{200 - 100} = -0,0121$$

$$d_2 = 90,55$$

$$y_2 = -0,0121 \cdot x + 90,55$$

Gleichsetzen der Funktionen  $y_1$  und  $y_2$  liefert den x-Abstand von  $x = 100$  ausgehend:

$$y_1 = y_2 \leftrightarrow -0,0002 \cdot x + 90,12 = -0,0121 \cdot x + 90,55 \rightarrow x = 36,13$$

Lage des BEP:

$$\text{BEP} = 100 + 36,13 = \mathbf{136,13 \text{ €/m}^2}$$

### Fazit und kalkulativer Kostenvergleich

Bis zu einer Wandansichtsfläche von 136,13 m<sup>2</sup> (= Lage des BEP) ist die Ortbetonwand bei den angenommenen Rahmenbedingungen wirtschaftlicher als die Hohlwand. Ab dem BEP ist das Bauverfahren mit Hohlwänden günstiger, wobei ab 200 m<sup>2</sup> bis 500 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche die Zunahme der Kostendifferenz und damit die Wirtschaftlichkeit der Hohlwand am stärksten zunimmt. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 5.21 ersichtlich, da die Neigung des Graphen zwischen 200 m<sup>2</sup> bis 500 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche am steilsten ist. Zusammenfassend werden in Tab. 35 die Einzelkosten der Ortbetonwand und die der Hohlwand gegenübergestellt und deren Kostendifferenz prozentuell ausgewertet. Bei beispielsweise 30.000 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche ist die Hohlwand um 10,51 %, also um 8,44 €/m<sup>2</sup> günstiger als die Ortbetonwand (siehe Abb. 5.21).

Wandansichtsfläche [m <sup>2</sup> ]	50	100	136,13	200	500	1.000	2.500	5.000	10.000	30.000
Kostenverlauf Ortbeton [€/m <sup>2</sup> ]	90,12	90,12	90,11	90,10	89,75	89,71	89,35	89,08	89,03	88,74
Kostenverlauf Hohlwand [€/m <sup>2</sup> ]	91,55	90,55	90,11	89,34	86,46	84,99	83,47	82,27	81,09	80,30
Kostendifferenz [€/m <sup>2</sup> ]	-1,43	-0,43	0,00	0,76	3,29	4,72	5,87	6,81	7,94	8,44
Kostendifferenz [%]	-1,56	-0,48	0,00	0,85	3,80	5,55	7,04	8,28	9,79	10,51

Tab. 35: Kostendifferenz der Verfahrensvarianten

### 5.4 Kalkulation Decke – Musterbeispiel

In diesem Abschnitt werden die Einzelkosten einer Ortbetondecke und die einer Elementdecke, aufbauend auf den Annahmen aus Abschnitt 5.4.1, berechnet. Ziel der Berechnung ist es, einen Tabelleneintrag von Einzelkosten (siehe Tab. 36) für nur eine gegebene Deckenstärke und Spannweite zu erstellen. In Tab. 36 werden die Tabelleneinträge für eine Deckenstärke von 20 cm und einer Stützweite von 5 m berechnet. Transportkosten, Krankkosten und Kosten einer Autobetonpumpe werden nicht berücksichtigt. Diese können durch den Anwender auf die Einzelkosten umgelegt werden. Der Anwender kann dadurch rasch mithilfe der Deckenstärke und Spannweite die Einzelkosten einer Ortbetondecke und einer Elementdecke abschätzen.

Deckenstärke [cm]	Einzelkosten in [€/m <sup>2</sup> ] bei gegebener Stützweite in [m]															
	2,00	2,50	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	...	...	...	4,90	5,00	...	...	...	7,00
18																
19																
20												€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>			
21																
22																
23																
24																
25																

Tab. 36: Einzelkosten der Ortbeton- und Elementdecke in Abhängigkeit der Deckenstärke und Stützweite

Die Kosten der Elementdecke wurden nicht aus diversen Preislisten (siehe Anhang I) entnommen, sondern es wurde eine Preisabfrage (Abb. 5.22) bei zwei Herstellern durchgeführt und anschließend ein Durchschnitt (ohne Gewichtung) der Preise gebildet. Die Ergebnisse der Materialpreise sind in Anhang C ersichtlich.

	Einheit							
	[m <sup>2</sup> ]	50	100	500	1000	2500	5000	15000
ED, d=5cm; C25/30, ab Werk	[€/m <sup>2</sup> ]							
DDB	[€/Stk]							
<b>Preisabfrage Elementdecke</b>								
Stabstahl eingebaut	[€/to]							
Gitterträger eingebaut	[€/to]							
Körbe eingebaut	[€/to]							
Fugenmatten mitgeliefert	[€/Stk]							

Abb. 5.22: Vorlage für Preisabfrage der Elementdecke

### 5.4.1 Basisvorgaben (Kalkulationsannahmen)

Für die Bestimmung der Einzelkosten werden folgende Randbedingungen und Angaben vorgegeben:

- ◆ Hochbauprojekt: Einfamilienhaus
- ◆ Massivdecke aus Stahlbeton, Stärke  $h = 20$  cm (siehe Abb. 5.23)
- ◆ Betondeckung  $c = 2,5$  cm
- ◆ Betongüte C 25/30 XC2 GK 32; Betonpreise und Förderkosten aus Anhang I
- ◆ lichte Weite  $l_w = 4,75$  m (siehe Abb. 5.23)
- ◆ Auflagertiefe  $a_t = 25$  cm (siehe Abb. 5.23)
- ◆ Auflast lt. ÖN B 1991-1-1 für Wohngebäude (Nutzungskategorie A):  
 $g_k = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>;  $q_k = 3,0$  kN/m<sup>2</sup>
- ◆ Bemessung als Einfeldträger (1-achsige Bemessung)
- ◆ Betonstahl BST 550; Stahlpreise aus Anhang C
- ◆ Kosten der Distanzstreifen: 2.130 €/to
- ◆ Kosten der Bewehrungsmatte AQ60: 950 €/to
- ◆ Der Mittellohnpreis beträgt 37 €/h.
- ◆ DDB und Einbauteile, wie Elektro und HKLS werden nicht berücksichtigt.
- ◆ Deckenschalung: konventionelle Deckenschalung (konventionelle Schalung)
  - 2 Schalungseinsätze je Monat
  - Mietsatz je Monat: 6,0 %
- ◆ Einsatzzahl der Unterstellung wird mit zwei Mal je Monat angenommen.
- ◆ Rohbauhöhe beträgt 2,95 m.
- ◆ Kosten zufolge Nachbehandlung werden nicht berücksichtigt.
- ◆ Kosten zufolge Nacharbeiten an Betonflächen werden nicht berücksichtigt.

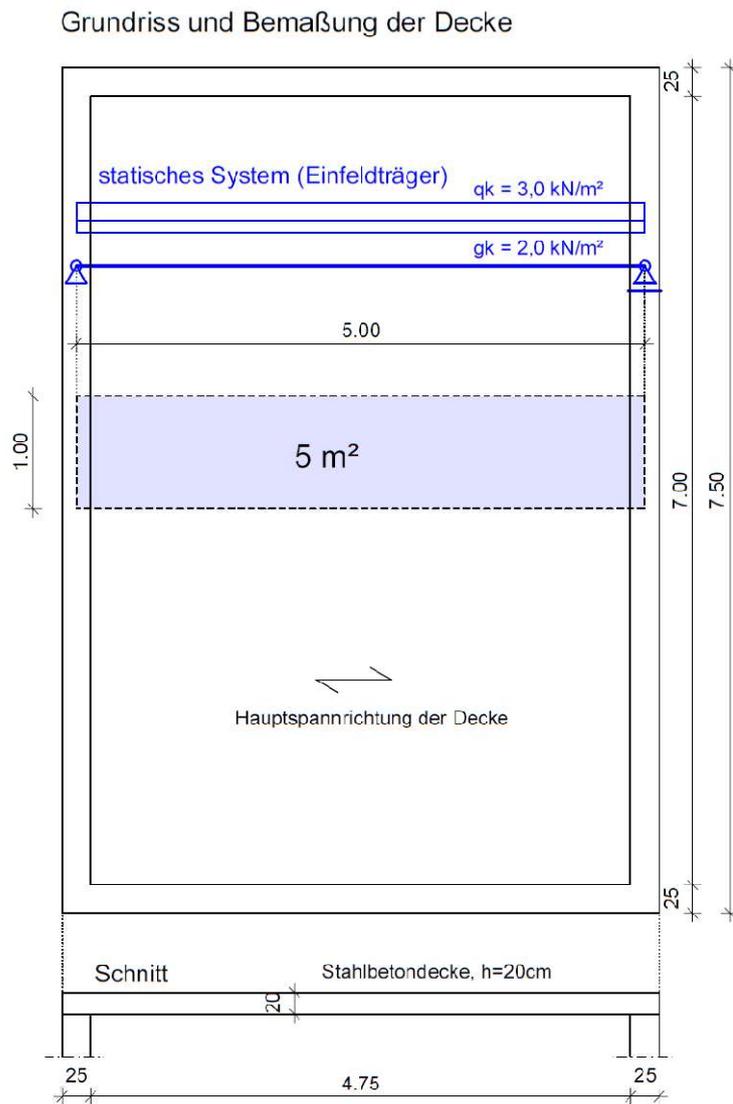


Abb. 5.23: Musterbeispiel Stahlbetondecke

## 5.4.2 Kalkulation Ortbetondecke

Der beispielhafte Bauablauf einer Stahlbetondecke in Ortbetonbauweise ist im Abschnitt 4.4.2 beschrieben. Aus diesem geht hervor, welche Arbeitsschritte notwendig sind, um eine solche Decke zu fertigen. In diesem Abschnitt werden die Lohn-, Geräte- und Materialkosten der notwendigen Arbeitsschritte für die Herstellung einer Ortbetondecke berechnet.

### Geräte- und Materialkosten der Deckenschalung

Bei der Ortbetondecke wird angenommen, dass konventionelle Deckenschalung (siehe Abschnitt 3.4.3) eingesetzt wird. Diese besteht i.d.R. aus Deckenstützen, Stützbeinen, Halteköpfen, Schalungsträgern (H20) und Schalhaut. Da im vorliegenden Musterbeispiel keine genaue Geometrie für Schalungsplanung vorhanden ist, sowie fehlende Randbedingungen (Vorhaltezeit, Vorhaltmenge, Bauzeit etc.) für die Schalungsberechnung vorliegen, werden die Schalungskosten folgendermaßen abgeschätzt:

Durch den Autor erfolgten am 02.03.2019 Preisanfragen an diversen Schalungsanbietern. Die Ergebnisse der Befragung und die gewählten Parameter für die Kalkulation sind in Tab. 37 angeführt.

Schalungsanbieter	Neuwert ohne Schalhaut [€/m <sup>2</sup> ]	Neuwert der Schalhaut [€/m <sup>2</sup> ]
Anbieter A	100	15
Anbieter B	120	20
Wahl für die Kalkulation	110	18

**Tab. 37: Neuwert der Deckenschalung**

Der Neuwert der Schalung ohne Schalhaut beträgt 110 €/m<sup>2</sup>. Die Schalungskosten je m<sup>2</sup> ohne Schalhaut betragen daher:

$$\frac{\text{Neuwert} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Mietsatz je Mo}}{\text{Einsatzzahl je Mo}} = \frac{110 \text{ €/m}^2 \cdot 0,06}{2} = \frac{6,6}{2} = 3,30 \text{ €/m}^2$$

Die Schalhaut (Schalplatten) wird nicht gemietet und muss daher um 18 €/m<sup>2</sup> gekauft werden. Es wird angenommen, dass die Schalhaut im Einfamilienhausbau drei Mal (Schalen der Decke von KG, EG und OG) eingesetzt wird. Daraus ergeben sich folgende Kosten für die Schalhaut:

$$\frac{\text{Neuwert} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right]}{\text{Einsatzzahl}} = \frac{18 \text{ €/m}^2}{3} = 6 \text{ €/m}^2$$

Für Randschalung und Verbrauchsstoffe werden Kosten in Höhe von 0,60 €/m<sup>2</sup> angenommen. Die gesamten Schalungskosten ergeben somit:

$$3,30 \text{ €/m}^2 + 6 \text{ €/m}^2 + 0,60 \text{ €/m}^2 = \mathbf{9,90 \text{ €/m}^2}$$

### Lohnkosten zufolge Deckenschalung

Das Schalen der Ortbetondecke erfolgt mittels einer konventionellen Schalung. Der Aufwandswert wurde aus Tab. 16 mit 1,15 h/m<sup>2</sup> gewählt. Es wird angenommen, dass in diesem Aufwandswert das Herstellen der Randschalung inbegriffen ist. Mithilfe des Aufwandswertes lassen sich Lohnkosten folgendermaßen ermitteln:

$$1,15 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \cdot \frac{37 \text{ €}}{\text{h}} = \mathbf{42,55 \text{ €/m}^2}$$

### Materialkosten der Bewehrung

Das Bewehrungsgewicht der Ortbetondecke wird nicht über den Bewehrungsgrad bestimmt, sondern die Decke wird nach ÖN B 1992-1-1 als Einfeldträger bemessen (Abb. 5.23). Dies wurde EDV-unterstützt durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein vorprogrammiertes Excel-Sheet, wonach der Fertigteilerhersteller seine Elementdecken bemisst. Das Ergebnis der Stahlbetonbemessung ist im Anhang J ersichtlich. Das Gesamtgewicht der Bewehrung in diesem Musterbeispiel setzt sich aus der unteren Längs- und Querbewehrung, den Distanzstreifen, der Rostbewehrung und der oberen Bewehrung zusammen. Zur besseren Verständlichkeit wurde ein Bewehrungsplan für die Musterdecke angefertigt, in diesem ist die Lage der bewehrten Bereiche ersichtlich (siehe Anhang K). Dabei wird ein 1 m Streifen

betrachtet. Das Gewicht der Bewehrung und die Kosten werden nun für diesen Streifen berechnet und in weiterer Folge für 1 m<sup>2</sup>.

### Untere Bewehrung

Nach Anhang J beträgt die erforderliche untere Hauptbewehrung ( $a_{s,l\ddot{a}ngs}$ ) 5,70 cm<sup>2</sup>/m<sup>228</sup>, die Mindestbewehrung ( $a_{s,min}$ ) beträgt 2,18 cm<sup>2</sup>/m. Es erfolgt keine Abstufung der unteren Hauptbewehrung, dies bedeutet, dass 100 % der unteren Bewehrung bis mindestens zur Hälfte der Auflagertiefe geführt wird.

Die untere Querbewehrung ist der größere Wert von:

$$(1) a_{s, quer} = 0,5 \cdot a_{s, min} = 0,5 \cdot 2,18 = 1,09 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$(2) a_{s, quer} = 0,2 \cdot a_{s, l\ddot{a}ngs} = 0,2 \cdot 5,70 = 1,14 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (maßgebend)}$$

Somit beträgt die gesamte erforderliche untere Bewehrung:

$$a_{s, l\ddot{a}ngs} + a_{s, quer} = 5,70 + 1,14 = 6,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Das Gewicht der unteren Bewehrung je m<sup>2</sup> beträgt:

$$6,84 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 0,785^{229} = 5,37 \text{ kg}/\text{m}^2$$

### Distanzstreifen<sup>230</sup>

Es wird angenommen dass 1,0 Stück je m<sup>2</sup> positioniert wird. Die Höhe der Distanzstreifen wird bei einer Deckenstärke von 20 cm unter Berücksichtigung der Betondeckung von 2,5 cm und den Stabdurchmessern der oberen und unteren Bewehrung mit 14 cm gewählt. Die Länge beträgt 2,0 m. Das Gewicht wird lt. Angabe des Lieferanten mit 0,94 kg je Stück angegeben.

Somit beträgt das Gewicht der Distanzstreifen je m<sup>2</sup>:

$$1,0 \frac{\text{Stk}}{\text{m}^2} \cdot 0,94 \frac{\text{kg}}{\text{Stk}} = 0,94 \text{ kg}/\text{m}^2$$

### Obere Bewehrung

Bei der oberen Bewehrung wurde angenommen, dass Mattenbewehrung als Abrissbewehrung entlang der freien Ränder positioniert wird (siehe Anhang K). Der Bewehrungsgehalt muss mindestens der Mindestbewehrung entsprechen. Da die Mindestbewehrung nicht von der Stützweite abhängig ist, bleibt sie bei Variation der Spannweite konstant. Deshalb wird das Gewicht der oberen Bewehrung nicht auf 5 m<sup>2</sup> (siehe Abb. 5.23), sondern gleich auf 1 m<sup>2</sup> bezogen. Gewählt wurde eine AQ 60 - Matte, diese weist einen Bewehrungsquerschnitt von 2,83 cm<sup>2</sup>/m je Richtung auf. Die Längenabmessungen einer ungeschnittenen ganzen Matte betragen 6,0 / 2,40 m. Aus diesen Abmessungen lassen sich wirtschaftlich Matten mit den Abmessungen 1,20 / 2,40 m

<sup>228</sup> Es wird keine Bewehrungswahl getroffen (z.B. d 10/15), da die Bewehrung dann mit der Elementdeckenbewehrung nicht mehr vergleichbar wird.

<sup>229</sup> Umrechnungsfaktor von cm<sup>2</sup>/m auf kg/m<sup>2</sup>: 0,785 = 7.850 [kg/m<sup>3</sup>] / 10.000

<sup>230</sup> Distanzstreifen fungieren als Abstandhalter, sie sichern den Abstand der unteren und oberen Lage der Bewehrung.

zuschneiden, so wurde die obere Bewehrung in Anhang K dargestellt. Bei einem Mindestübergriff der Matten von 20 cm beträgt der Bewehrungsquerschnitt lt. Typenblatt eines Lieferanten in eine Richtung 3,09 cm<sup>2</sup>/m.

Das Gewicht der oberen Bewehrung beträgt nach Anhang K:

$$2 \text{ Seiten} \cdot (1 \cdot 1,20) \cdot (2 \cdot 3,09 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}) \cdot 0,785 = 11,64 \text{ kg/m}^2$$

### Rostbewehrung

Beim vorliegenden Musterbeispiel wird angenommen, dass die Rostbewehrung (Ringanker, auch Schließrost genannt) aus vier Bewehrungsstäben zu je 8 mm (4 d8) besteht. Jeweils zwei davon werden unterhalb und oberhalb der Decke platziert. Der Schließrost wird in Abhängigkeit horizontal wirkender Kräfte bemessen. Das Gewicht der Rostbewehrung wird wiederum nicht auf 5 m<sup>2</sup> (Abb. 5.23), sondern gleich auf 1 m<sup>2</sup> bezogen. Das Laufmetergewicht von einem Stabstahldurchmesser mit 8 mm beträgt 0,395 kg/m.

Das Gewicht der Rostbewehrung beträgt:

$$2 \text{ Seiten} \cdot 4 \text{ Stück} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,395 \text{ kg/m} = 3,16 \text{ kg/m}^2$$

### Zusammenfassung und Kosten der Bewehrung

In Tab. 38 werden die Kosten der Bewehrung je m<sup>2</sup> errechnet. Die Preise für den geschnittenen Stabstahl stammen aus Anhang C, die der Distanzstreifen und Matten aus Abschnitt 5.4.1.

Bewehrungsart	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Bewehrungsform	Kosten [€/1.000 kg]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
Untere Bewehrung	5,37	Stabstahl, geschnitten	723,33	3,88
Distanzstreifen	0,94	schlangenförmig	2.130	2,00
Obere Bewehrung	11,64	Matten (6,0/2,40 m)	950	11,06
Rostbewehrung	3,16	Stabstahl, geschnitten	723,33	2,29
Summe	21,11	-	-	<b>19,23</b>

**Tab. 38: Materialkosten der Bewehrung (Ortbetondecke)**

### **Lohnkosten zufolge Bewehrungsarbeiten**

Folgende Aufwandswerte werden für die Lohnkalkulation herangezogen:

Betonstahl verlegen in Platten (Ø 10 - 20 mm): AW = 18 h/to ≙ 0,018 h/kg – aus Tab. 15

Betonstahlmatten, schneiden, verlegen in Platten (alle Matten): AW = 17 h/to – aus Tab. 15

Die Lohnkalkulation erfolgt in Tab. 39, wobei angenommen wird, dass der Aufwand für das Verlegen der Distanzstreifen ident mit dem Verlegen der Matten ist.

Bewehrungsart	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	AW [h/kg]	MLP [€/h]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
Untere Bewehrung	5,37	0,018	37	5,37·0,018·37 = 3,58
Distanzstreifen	0,94	0,017	37	0,94·0,017·37 = 0,59
Obere Bewehrung	11,64	0,017	37	11,64·0,017·37 = 7,32
Rostbewehrung	3,16	0,018	37	3,16·0,018·37 = 2,10
Summe	21,11	-	-	<b>13,59</b>

Tab. 39: Lohnkosten der Bewehrung (Ortbetondecke)

### Materialkosten von Beton

Folgender Beton wird für die Deckenbetonage verwendet: C 25/30 XC2 GK32

gewählter Betonpreis aus Anhang C: 84,43 €/m<sup>3</sup> (keine Aufzahlung für GK32!)

Die Materialkosten von Beton je m<sup>2</sup> betragen somit:

$$84,43 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 0,20 \text{ m} = \mathbf{16,89 \text{ €/m}^2}$$

### Lohnkosten zufolge Betonierarbeiten

Für die Berechnung des Lohnanteils wird ein Stundenansatz von 0,60 h/m<sup>3</sup> gewählt. Es handelt sich dabei den Aufwand der Betonierarbeiten mit Auslegerpumpe für Decken mit Deckenstärken von 16 bis 20 cm (siehe Tab. 15).

Der Lohnanteil je m<sup>2</sup> lässt sich nun folgendermaßen berechnen:

$$0,60 \frac{\text{h}}{\text{m}^3} \cdot 0,20 \text{ m} \cdot 37 \frac{\text{€}}{\text{h}} = \mathbf{4,44 \text{ €/m}^2}$$

Soeben wurden die Einzelkosten für die angegebene Stahlbetondecke getrennt nach Schalung, Bewehrung und Beton kalkuliert. Diese Kosten werden nun in Tab. 40 zusammengefasst. Somit ist der erste Tabelleneintrag in Tab. 36 berechnet.

<b>Schalung</b>	C1	Material + Gerätekosten	9,90 €/m <sup>2</sup>	52,45 €/m <sup>2</sup>
	C2	Lohn	42,55 €/m <sup>2</sup>	
<b>Bewehrung</b>				
<b>Bewehrung</b>	C3	Material	19,23 €/m <sup>2</sup>	32,82 €/m <sup>2</sup>
	C4	Lohn	13,59 €/m <sup>2</sup>	
<b>Beton</b>				
<b>Beton</b>	C5	Material	16,89 €/m <sup>2</sup>	21,33 €/m <sup>2</sup>
	C6	Lohn	4,44 €/m <sup>2</sup>	
<b>Summe</b>			<b>106,60 €/m<sup>2</sup></b>	<b>106,60 €/m<sup>2</sup></b>

Tab. 40: Zusammenfassung der Einzelkosten (Ortbetondecke)

### 5.4.3 Kalkulation Elementdecke

Im vorherigen Abschnitt 5.4.2 wurden die Einzelkosten der Ortbetondecke kalkuliert. Nun werden in analoger Weise die Einzelkosten einer Elementdecke mit Ortbetonerfüllung berechnet. Dies stellt den zweiten Tabelleneintrag in Tab. 36 dar.

#### Materialkosten der Elementdecke

Die Materialkosten der Elementdecke sind vom Plattenpreis und einer Reihe von teils systembedingten Aufzahlungen abhängig (Abb. 5.14). Für das angegebene Musterbeispiel werden Kosten für den Plattenpreis, der eingebauten und mitgelieferten Fugenbewehrung, als Materialkosten berücksichtigt. Einbauteile für Elektro, HKLS etc. werden nicht berücksichtigt. Es werden jene Preise verwendet, welche für 500 m<sup>2</sup> Elementdeckenfläche gültig sind (siehe Spalte „500“ – Anhang C). Deren Menge und Kosten werden nun bestimmt.

#### ◆ Plattenpreis der Elementdecke

Preis für Elementdecke mit Plattendicke  $d = 5$  cm, Betongüte C 25/30 XC2, inkl.

Aussparungen, Passplatten, schräger Abschalung:

$$10,00 \text{ €/m}^2 \text{ (aus Anhang C)}$$

#### ◆ Bewehrung

##### eingebaute Bewehrung – Stabstahl:

Um das Gewicht der eingebauten Bewehrung genau zu bestimmen, wurde bei einem FT-Hersteller eine Werkszeichnung durch den Autor angefertigt, aus dieser konnten Produktionsdatenblätter (siehe Anhang L) generiert werden. Als Grundlage für die Erstellung der Werkszeichnung dient die Skizze lt. Abb. 5.23 samt den erforderlichen Bewehrungsangaben aus Abschnitt 5.4.2. Aus den einzelnen Plattenpositionen (siehe Anhang L) kann die eingebaute Bewehrung abgelesen werden.

Die eingebaute Längsbewehrung (unten) nach Anhang L beträgt:

$$a_{s, \text{längs}, FT} = 5,77 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Die eingebaute Querbewehrung (unten) nach Anhang L beträgt:

$$a_{s, \text{quer}, FT} = 1,35 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Somit beträgt die gesamte eingebaute untere Bewehrung:

$$\text{as, längs, FT} + \text{as, quer, FT} = 5,77 + 1,35 = 7,12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Das Gewicht der unteren Bewehrung je m<sup>2</sup> beträgt:

$$\sum \text{Bew}_{\text{FT, u}} = 7,12 \text{ cm}^2/\text{m} \cdot 0,785 = 5,59 \text{ kg/m}^2$$

Massenvergleich der unteren Bewehrung:

Ortbetonbauweise: 5,37 kg/m<sup>2</sup> (siehe Abschnitt 5.4.2)

Fertigteilmontagebauweise: 5,59 kg/m<sup>2</sup>

Prozentuell beträgt die Mehrbewehrung der unteren Lage:

$$\frac{5,59 \text{ kg}}{5,37 \text{ kg}} \cdot 100 = 104,10 \% \rightarrow 4,10 \% \text{ Mehrbewehrung}$$

**eingebaute Bewehrung – Gitterträger:**

Beim Erstellen der Werkszeichnung wurde ein 13 cm hoher Gitterträger verwendet. Auf eine ganze Plattenbreite von 2,40 m werden vier Gitterträger, vom Plattenrand 30 cm und untereinander im Abstand von 60 cm positioniert (siehe Anhang L). Das Laufmetergewicht des Gitterträgers wird lt. FT-Hersteller mit 1,305 kg/m angegeben.

Damit lässt sich das flächenspezifische Gewicht des Gitterträgers mit den Plattenabmessungen 2,40 m / 5,0 m folgendermaßen berechnen:

$$\sum \text{Bew}_{\text{GTR}} = \frac{\sum \text{Gewicht GTR [kg]}}{\text{Plattenfläche [m}^2\text{]}} = \frac{4 \text{ GTR} \cdot 5 \text{ m} \cdot 1,305 \text{ kg/m}}{5 \text{ m} \cdot 2,40 \text{ m}} = \frac{26,1 \text{ kg}}{12 \text{ m}^2} = 2,18 \text{ kg/m}^2$$

Die Untergurte der Gitterträger werden i.A. zur unteren Hauptbewehrung hinzugerechnet. Wird das Gewicht der Gitterträger zum Gewicht der unteren eingebauten Bewehrung addiert, dann ist folgendes Gesamtgewicht der Bewehrung eingebaut:

$$\sum \text{Bew}_{\text{FT, u}} + \sum \text{Bew}_{\text{GTR}} = 5,59 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 2,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 7,77 \text{ kg/m}^2$$

Prozentuell beträgt die Mehrbewehrung:

$$\frac{7,77 \text{ kg}}{5,37 \text{ kg}} \cdot 100 = 144,69 \% \rightarrow 44,69 \% \text{ Mehrbewehrung}$$

**mitgelieferte Bewehrung – Fugenbewehrung:**

Über den Plattenstoßfugen von Elementdecken ist Fugenbewehrung vorzusehen. Dies ist bei 2-achsiger Bemessung die zweite Lage der unteren Bewehrung, welche quer auf die Elemente gelegt wird. Bei 1-achsiger Bemessung werden i.d.R. schmale Matten (0,60 / 2,40 m) als Fugenbewehrung verwendet. Es wird angenommen, dass bei dem Musterbeispiel eine Fugenmatte des Typs FM60 verwendet wird. Diese weist einen Stahlquerschnitt von 2,83 cm<sup>2</sup>/m normal zur Stoßfuge auf. Erforderlich sind lt. Abschnitt 5.4.2 als Querbewehrung 1,09 cm<sup>2</sup>/m. Das Gewicht einer FM60-Matte beträgt lt. Datenblatt des Stahllieferanten 3,94 kg.

Das flächenspezifische Gewicht der Fugenmatten wird, unter der Annahme von ganzen Plattenbreiten mit 2,40 m, keinem Mattenübergriff und beliebiger Längenausdehnung folgendermaßen bestimmt:

$$\frac{3,94 \text{ kg}}{2,40 \text{ m}} = 1,64 \text{ kg/m (Mattengewicht je lfm)} \rightarrow \frac{1,64 \text{ kg}}{1 \text{ m} \cdot 2,40 \text{ m}} = 0,68 \text{ kg/m}^2$$

Obere Bewehrung

Annahme: Die obere Bewehrung der Elementdecke ist ident zur oberen Bewehrung der Ortbetondecke (siehe Abschnitt 5.4.2).

Rostbewehrung

Die Rostbewehrung der Elementdecke ist ident mit der Rostbewehrung der Ortbetondecke (siehe Abschnitt 5.4.2).

Zusammenfassung und Kosten der Bewehrung

In Tab. 41 werden die Kosten der Bewehrung für die Elementdecke je m<sup>2</sup> errechnet. Die Stahlpreise, welche die Elementdecke betreffen, wurden aus Anhang C entnommen. Die Tabelleneinträge in Tab. 41 für obere Bewehrung und die Rostbewehrung sind unverändert aus Tab. 39 entnommen worden.

Bewehrungsart	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	Bewehrungsform	Kosten [€/1.000 kg]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
Untere Bewehrung	5,59	Stabstahl, eingebaut	1.150	6,43
Gitterträger	2,18	3-Gurt-Binder, eingebaut	1.200	2,62
Fugenbewehrung	0,68	Matten (0,60/2,40 m)	1.150	0,78
Obere Bewehrung	11,64	Matten (6,0/2,40 m)	950	11,06
Rostbewehrung	3,16	Stabstahl, geschnitten	723,33	2,29
Summe	23,25	-	-	<b>23,18</b>

Tab. 41: Materialkosten der Bewehrung (Elementdecke)

**Gerätekosten der Unterstellung**

Die Materialkosten der Schalung werden analog wie im Abschnitt 5.4.2 berechnet. Der einzige Unterschied besteht darin, dass für die Unterstellung der Elementdecke die Querträger und die Schalhaut entfallen. Der Neuwert der Unterstellung, also ohne Querträger und ohne Schalhaut wird daher mit 80 €/m<sup>2</sup> angenommen. Der Mietsatz je Monat wird weiterhin, wie bei der Deckenschalung, mit 6,0 % angenommen.

Die Unterstellungskosten je m<sup>2</sup> betragen somit:

$$\frac{\text{Neuwert} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right] \cdot \text{Mietsatz je Mo}}{\text{Einsatzzahl je Mo}} = \frac{80 \text{ €/m}^2 \cdot 0,06}{2} = \frac{4,80}{2} = \mathbf{2,40 \text{ €/m}^2}$$

### Lohnkosten zufolge Unterstellung und Randabschalung

Um den Lohnaufwand für das Herstellen der Unterstellung inkl. Randabschalung zu berechnen, wurde aus Tab. 15 der Aufwandswert mit  $0,18 \text{ h/m}^2$  gewählt. Daraus wird folgender Lohnanteil berechnet:

$$0,18 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \cdot \frac{37 \text{ €}}{\text{h}} = 6,66 \text{ €/m}^2$$

### Lohnkosten zufolge Versetzarbeiten

Nach Tab. 15 beträgt der Aufwandswert für Versetzarbeiten (Platten verlegen)  $0,13 \text{ h/m}^2$ . Die Lohnkosten betragen somit:

$$0,13 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \cdot \frac{37 \text{ €}}{\text{h}} = 4,81 \text{ €/m}^2$$

### Lohnkosten zufolge Bewehrungsarbeiten

Die Lohnkosten zufolge der Bewehrungsarbeiten werden in ähnlicher Weise berechnet, wie in Tab. 39. Verglichen mit der Ortbetonbauweise, entfallen bei der Elementdecke die Bewehrungsarbeiten für die Verlegung der unteren Lage und das Platzieren der Distanzstreifen (siehe Tab. 42). Jedoch kommt der Lohnaufwand bezüglich der Verlegung der Fugenmatten hinzu. Für die Verlegung der Fugenmatten wurde der Aufwandswert der oberen Bewehrung mit  $17 \text{ h/to}$  gewählt (Matten verlegen). Der Lohnaufwand und die Bewehrungsmenge für die obere Bewehrung und der Rostbewehrung bleiben in diesem Beispiel für beide Verfahrensvarianten gleich. Die Lohnkostenberechnung wird nun in Tab. 42 durchgeführt.

Bewehrungsart	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]	AW [h/kg]	MLP [€/h]	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
Untere Bewehrung	5,59	0	-	Lohnanteil entfällt
Gitterträger	2,18	0	-	Lohnanteil entfällt
Fugenbewehrung	0,68	0,017	37	$0,68 \cdot 0,017 \cdot 37 = 0,43$
Obere Bewehrung	11,64	0,017	37	$11,64 \cdot 0,017 \cdot 37 = 7,32$
Rostbewehrung	3,16	0,018	37	$3,16 \cdot 0,018 \cdot 37 = 2,10$
Summe	23,25	-	-	<b>9,85</b>

Tab. 42: Lohnkosten der Bewehrung (Elementdecke)

### Materialkosten von Aufbeton

Die Deckenstärke in diesem Beispiel beträgt 20 cm. Die Elementdecke hat eine Plattenstärke von 5 cm. Damit verbleibt für den Aufbeton eine Höhe von 15 cm.

Folgender Beton wird für den Aufbeton verwendet: C 25/30 XC2 GK32

gewählter Betonpreis aus Anhang C:  $84,43 \text{ €/m}^3$  (keine Aufzahlung für GK32!)

Die Materialkosten von Beton je m<sup>2</sup> betragen somit:

$$84,43 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 0,15 \text{ m} = 12,66 \text{ €/m}^2$$

### Lohnkosten zufolge Betonierarbeiten

Für die Berechnung des Lohnanteils wird aus Tab. 15 ein Stundenansatz von 0,70 h/m<sup>3</sup> gewählt (Betonierarbeiten mit Auslegerpumpe für Deckenstärken von 10 bis 15 cm).

Der Lohnanteil je m<sup>2</sup> lässt sich nun folgendermaßen berechnen:

$$0,70 \frac{\text{h}}{\text{m}^3} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 37 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 3,89 \text{ €/m}^2$$

Die gesuchten Einzelkosten für die Elementdecke wurden soeben kalkuliert, diese werden nun in Tab. 43 zusammengefasst. Somit ist nun der zweite gesuchte Tabelleneintrag in Tab. 36 berechnet.

Elementdecke ab Werk	D1	10,00 €/m <sup>2</sup>	Elementdecke	10,00 €/m <sup>2</sup>
Bewehrung - Stabstahl, eingebaut	D1	6,43 €/m <sup>2</sup>	Anteil Bewehrung, eingebaut	9,05 €/m <sup>2</sup>
Bewehrung - Gitterträger, eingebaut	D1	2,62 €/m <sup>2</sup>		
Fugenbewehrung, mitgeliefert	D1	0,78 €/m <sup>2</sup>	Anteil Bewehrung, mitgeliefert	14,13 €/m <sup>2</sup>
Obere Bewehrung, mitgeliefert	D1	11,06 €/m <sup>2</sup>		
Rostbewehrung, mitgeliefert	D1	2,29 €/m <sup>2</sup>		
Gerätekosten Unterstellung	D2	2,40 €/m <sup>2</sup>	Anteil Unterstellung	9,06 €/m <sup>2</sup>
Lohnkosten Unterstellung + Randsch.	D3	6,66 €/m <sup>2</sup>		
Lohnkosten Versetzen FT-Elemente	D4	4,81 €/m <sup>2</sup>	Lohn Versetzen	4,81 €/m <sup>2</sup>
Lohnkosten Bewehrungsarbeiten	D5	9,85 €/m <sup>2</sup>	Lohn Bewehren	9,85 €/m <sup>2</sup>
Materialkosten Aufbeton	D6	12,66 €/m <sup>2</sup>	Anteil Beton	16,55 €/m <sup>2</sup>
Lohnkosten Betonierarbeiten	D7	3,89 €/m <sup>2</sup>		
Einheitskosten 1 m <sup>2</sup> ED		73,45 €/m <sup>2</sup>	Summe:	73,45 €/m <sup>2</sup>

Tab. 43: Zusammenfassung der Einzelkosten (Elementdecke)

### 5.4.4 Ergebnis

Im Abschnitt 5.4.2 wurden die Einzelkosten der Ortbetondecke für das gegebene Musterbeispiel berechnet, auf analoger Weise erfolgte im Abschnitt 5.4.3 die Berechnung der Einzelkosten der Elementdecke. Die Kostenermittlung erfolgte primär für eine gegebene Deckenstärke von 20 cm und eine Deckenstützweite von 5,0 m (Abb. 5.23), unter Berücksichtigung der Kalkulationsannahmen aus Abschnitt 5.4.1. Die soeben ermittelten Einzelkosten sind die gesuchten Tabelleneinträge in Tab. 36. Diese werden nun in Tab. 44 eingefügt. Bei der Deckenstärke von 20 cm und der Deckenstützweite von 5,0 m stellt der erste Wert (= 106,60), die Einzelkosten der Ortbetondecke und der zweite Wert (= 73,45), die Einzelkosten der Elementdecke jeweils in €/m<sup>2</sup> dar.

#### Fazit:

Für das gegenständliche Musterbeispiel beträgt die Kostendifferenz zwischen Ortbetondecke und Elementdecke:

$$106,60 - 73,45 = 33,15 \text{ €/m}^2$$

Deckenstärke [cm]		Einzelkosten in [€/m <sup>2</sup> ] bei gegebener Stützweite in [m]												
		2,00	2,50	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	...	...	...	4,90	5,00	...
18	OB													
	ED													
19	OB													
	ED													
20	OB												106,60	
	ED												73,45	

Tab. 44: Einzelkosten der Ortbeton- und Elementdecke in Abhängigkeit der Deckenstärke und Stützweite

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Stahlbetonwände und Stahlbetondecken können aus Ortbeton, Halbfertigteilen oder Vollfertigteilen hergestellt werden. Wände und Decken aus Vollfertigteilen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt. Der markante Unterschied dieser Bauweisen besteht darin, an welchem Ort die Produktionsprozesse stattfinden. Bei der Ortbetonbauweise findet der gesamte Produktionsprozess auf der Baustelle statt, während bei der Fertigteilbauweise die gesamten oder Teile der Produktionsprozesse ausgelagert werden. Bei der Fertigteilbauweise entfallen die lohnintensiven Produktionsprozesse Schalen und Bewehren nahezu auf der Baustelle, weil diese in modernen Fertigungswerken durch Roboter übernommen werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen in dieser Arbeit werden nun die im Abschnitt 1 gestellten Fragen beantwortet.

### Forschungsfrage 1

*Welche baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Unterschiede bestehen zwischen der Ortbetonbauweise und Fertigteilbauweise?*

Um diese zwei Bauweisen, die im Grunde aus demselben Material bestehen, voneinander unterscheiden zu können, wurden zunächst die Grundlagen der Betonfertigteil- und Ortbetonbauweise ausgearbeitet. Dabei wurde insbesondere auf die Planung der beiden Bauweisen eingegangen und deren Elemente der Baustelleneinrichtung näher beschrieben. Die Bauabläufe und die Hilfsmittel für die Herstellung von Stahlbetonwänden und -decken wurden erläutert. Nach dieser Grundlagenrecherche konnte, eine der Aufgabenstellungen dieser Arbeit, eine tabellarische Gegenüberstellung der Betonfertigteil- und Ortbetonbauweise nach verschiedenen Kriterien durchgeführt werden. Aufgrund der umfangreichen Unterschiede dieser beiden Verfahrensvarianten ist die Gegenüberstellung ab Seite 75 angeführt. Wegen der gelenkigen Knotenausbildungen in der Fertigteilbauweise ist der Einsatz aufgrund Gesamtstabilität des Tragwerks begrenzt. Die dadurch fehlende Durchlaufträgerwirkung und systembedingte Fugen ziehen einen Mehrverbrauch an Bewehrung mit sich. Dies sollte in der Kalkulation berücksichtigt werden. Ein weiterer Aspekt stellt die Bauzeitverkürzung dar, welche beim Einsatz von Fertigteilen unter optimalen Einsatzbedingungen i.d.R. gegeben ist. Dies ist insbesondere bei pönalisierten Bauvorhaben von Vorteil. Bei der Fertigteilbauweise reduzieren sich die herzustellenden Mengen bei Schalung, Bewehrung und Beton auf der Baustelle, dies führt zwangsläufig somit zu geringeren Arbeitsstunden auf der Baustelle, welches sich positiv auf die Bauzeit auswirkt.

### Forschungsfrage 2

*Wie sieht die Gesamtkostenverteilung (Bewehrung, Schalung, Transport,...) auf der Baustelle für ein Musterbeispiel einer Ortbeton-Stahlbetonwand und einer Fertigteil-Hohlwand bei zunehmender Wandfläche aus? Welches dieser Bauverfahren kommt anhand dieser Analyse bei welchen Wandflächen zur Anwendung?*

Mit den vorab recherchierten Materialpreisen wurden Gesamtkostenverläufe der Ortbeton- und Hohlwand, unter Berücksichtigung von Tür- und Wandaussparungen, generiert (siehe Abb. 6.1). Bei den Materialpreisen stellte sich heraus, dass der Stahlpreis unabhängig von

der angefragten Tonnage ist und daher konstant betrachtet werden kann. Die Materialpreise der Hohlwand nehmen mit zunehmender Wandfläche ab, ähnlich verhält es sich mit dem Beton. Nachfolgende Abb. 6.1 zeigt, dass für das Musterbeispiel mit den gewählten Randbedingungen die Ortbetonbauweise bis zu einer Wandfläche von 136,13 m<sup>2</sup> gegenüber der Hohlwandbauweise, das günstigere Bauverfahren ist. Ab diesen Schwellenwert ist die Hohlwand bis zum Betrachtungsende die günstigere Bauweise. Bei einer Wandfläche von beispielsweise 30.000 m<sup>2</sup> beträgt der Kostenunterschied zwischen den beiden Bauweisen 253.200 €.

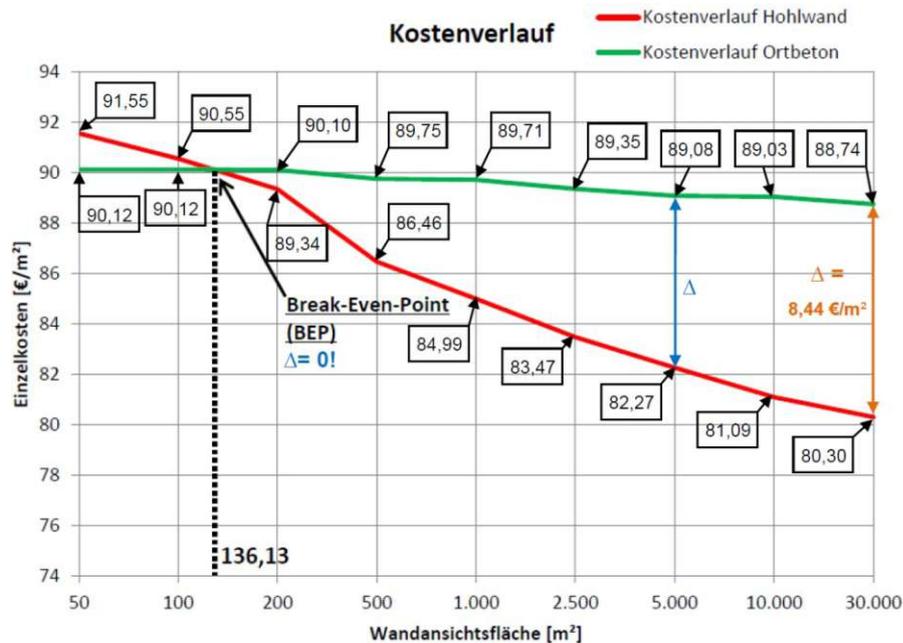


Abb. 6.1: grafische Darstellung der Gesamtkostenverläufe

Die Berechnung der Einzelkosten beruht auf Grundlage von gewählten Randbedingungen und kann als Entscheidungshilfe bezüglich der Auswahl von Bauverfahren herangezogen werden. Zu den Randbedingungen zählen unter anderem auch die Aufwandswerte, welche im Rahmen dieser Arbeit, nicht angepasst wurden. Werden diese bzw. die Randbedingungen generell geändert, so muss auch die zugrunde gelegte Berechnung dahingehend angepasst werden. Hierbei haben insbesondere Materialpreisschwankungen und Transportkosten von Schalung, Bewehrung, Beton, Hohlwand, Elementdecke etc. einen großen Einfluss auf den Gesamtkostenverlauf, sowie der Mittellohnpreis. Weitere Randbedingungen aus Abschnitt 5.3.1 nehmen Einfluss auf die Gesamtkosten.

### Forschungsfrage 3

*Treten Mengenunterschiede bei der Wandbewehrung zwischen den beiden Verfahrensvarianten auf? Was sind die Ursachen?*

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde für eine Musterwand in Ortbeton- und Hohlwandbauweise ein Materialvergleich hinsichtlich Bewehrung durchgeführt. Dieser hat ergeben, dass in der Hohlwand fast 14 % mehr Bewehrung in Form von Stabstahl eingebaut ist, als statisch notwendig wäre. Ein Grund liegt in der Fertigung der Bewehrung. In einer

sog. Mattenschweißanlage wird durch Roboter der lose Stabstahl zu einem Bewehrungsnetz geschweißt. Weitere Gründe für die Stabstahl-Mehrung sind Randabstände zur Bewehrung (Betondeckung) und Plattenbreiten. Passplatten haben oft ein dichteres Bewehrungsnetz als Platten mit Regelbreiten. Die Anordnung der Bewehrung ist den Produktionsdatenblättern zu entnehmen. Die Mattenschweißanlage ist so programmiert, dass Bewehrungsstäbe üblicherweise gleichmäßig, z.B. in einem 5 cm Raster, angeordnet werden. Die Mattenschweißanlage ist i.d.R. nicht so programmiert, dass Stabstahl mit Durchmesser 10 mm alle 7 cm angeordnet wird. Dadurch ergeben sich also anlagebedingt, aufgrund des Stabstahldurchmessers und Bewehrungsrasters, verschiedene Bewehrungsstufen, welche i.d.R. die erforderliche Bewehrung lt. Statik übertreffen. Wird nun noch das Gewicht der Gitterträger, welche üblicherweise auch für die Tragfähigkeit herangezogen werden, zur Stabstahlbewehrung addiert, so sind gegenüber der Ortbetonwand fast 60 % mehr Bewehrung in der Hohlwand eingebaut. In erster Linie sind also die Gitterträger (mit 45 %) für die Massenerhöhung verantwortlich. Auf diese erhöhte Bewehrungsmenge folgt ein höherer Bewehrungsgrad, die Wirtschaftlichkeit der Hohlwand wird beeinflusst. Daraus folgt, dass Bewehrungsgrade von Ortbetonwänden nicht 1:1 auf Hohlwände übertragen werden können. Dies ist beim Kalkulieren von Materialmengen nicht irrelevant, um Nachträge zu vermeiden.

### **Forschungsfrage 4**

*Vergleichen Sie die Gesamtkosten (Bewehrung, Schalung, Transport,...) auf der Baustelle für ein Musterbeispiel einer Ortbeton-Stahlbetondecke und einer Fertigteil-Elementdecke bei gleicher Spannweite für den kleinvolumigen Wohnbau.*

Abschließend wurden Tabelleneinträge für eine Ortbeton- und Elementdecke berechnet. Die Ergebnisse der Berechnung ergaben für das Musterbeispiel, dass die Kosten der Ortbetondecke mit 106,60 €/m<sup>2</sup> weit höher sind, als die der Elementdecke mit 73,45 €/m<sup>2</sup>. Bei den Tabelleneinträgen handelt es sich um Einzelkosten, welche von einer Stützweite und Deckendicke abhängig sind. Dem Bewehrungsgewicht liegt ein Einfeldträgersystem zu Grunde, mit den üblichen Auflasten im Wohnbau für eine gegebene Stützweite von 5 m und einer Deckendicke von 20 cm. Transportkosten, Krankkosten und Gerätekosten, z.B. einer Autobetonpumpe, wurden nicht in der Berechnung berücksichtigt und können auf die angegebenen Einzelkosten in der Tabelle umgelegt werden. Der Kostenvergleich hat ergeben, dass mit den gewählten Randbedingungen die Ortbetondecke um 45 % teurer ist, als die Elementdecke. Hierbei ist der treibende Kostenfaktor der Lohnaufwand bezüglich Deckenschalen. Für den Einfamilienhausbau wurde die konventionelle Schalung gewählt. Diese Deckenschalung ist im Errichten sehr aufwändig. Aus der Berechnung kann also abgeleitet werden, dass die Elementdecke im Einfamilienhausbau wirtschaftlich klar von Vorteil ist, sofern diese eingesetzt werden kann. Im Wohnbau kann bei größeren Deckenflächen auf die Systemschalung oder Modulschalung zurückgegriffen werden, um die Kosten der Schalarbeiten zu senken.

Aufgrund der Einzigartigkeit jedes Bauvorhabens mit den dazugehörigen Randbedingungen, kann keine generelle Aussage zur Gesamtwirtschaftlichkeit der Fertigteilbauweise gegenüber der Ortbetonbauweise getroffen werden. Randbedingungen, wie die Lage des

Projekts, Zufahrt, Fertigstellungstermin, Qualität und Budget sind entscheidend für die Wahl der Bauweisen. Die Lage des Fertigteilwerks und die damit verbundenen Transportkosten zur Baustelle können erheblich sein und ein geplantes Projekt in Fertigteilbauweise kostentechnisch zunichtemachen. Diese Arbeit liefert jedoch einen Überblick dieser verschiedenen Bauweisen und durch Musterbeispiele am Ende dieser Arbeit wurden Kosten berechnet, welche für Kostenabschätzungen herangezogen werden können.

## Literaturverzeichnis

Avermann Maschinenfabrik GmbH & Co KG; <http://www.avermann.de>

Bachmann H.: Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 2.Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, 2010

Bauhütte Leitl-Werke GmbH; <http://www.leitl.at>

Bergmeister K., Fingerloos F., Wörner J.: Betonkalender 2016, Ernst & Sohn, Berlin, 2016

Betonwerk Jungwirth GmbH; <http://www.jungwirth.co.at>

Doka Group GmbH; <https://www.doka.com>

EBAWE Anlagentechnik GmbH; <http://www.ebawe.com>

Franz Oberndorfer GmbH & Co KG; <http://www.oberndorfer.at>

Girmscheid G.: Angebots- und Ausführungsmanagement – prozessorientiert -  
Erfolgsorientierte Unternehmensführung, 3.Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2015

Girmscheid G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse,  
4.Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010

Gossow V.: Baubetriebspraxis - Leitfaden für die Bauausführung, Springer Verlag, Berlin  
Heidelberg, 1998

Grübl P., Weigler H., Karl S.: Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften, 2.Auflage, Ernst  
& Sohn, Berlin, 2001

Grübl, Weigler, Karl: Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften, 2.Auflage, Ernst & Sohn,  
2001

Grupp P.: Schalungsatlas: Schalungssysteme und Einsatz in der Praxis, Verlag  
Bau+Technik,Düsseldorf, 2009

Hestermann U., Rongen L.: Frick/Knöll Baukonstruktionslehre, 35.Auflage, Vieweg+Teubner,  
Wiesbaden, 2010

Hoffmann M.: Beispiele für die Baubetriebspraxis, 1.Auflage, B.G. Teubner Verlag,  
Wiesbaden, 2006

Hofstadler Ch.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, Springer Verlag, Berlin  
Heidelberg, 2007

Hofstadler Ch.: Schararbeiten – Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl,  
Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008

Hübsch M.J.: Weiße Wannen - Ein technischer und wirtschaftlicher Vergleich von Ortbeton-  
und Elementwänden, Diplomarbeit, TU-Wien, 2016

Hünnebeck Austria Schalungstechnik GmbH; <https://www.huennebeck.at>

Jodl H.G.: Bauverfahrenstechnik, Studienblätter - Vorlesung 2009, TU-Wien, 2009

- Jodl H.G.: Einrichtung und Betrieb von Baustellen, Studienblätter - Vorlesung SS 2012, TU-Wien, 2012
- K. Bisani: Beton- und Stahlbetonarbeiten, Skript zur Vorlesung, Stand: 14.11.2006, Fachhochschule München, Fakultät 02 Bauingenieurwesen
- Kolbitsch A.: Hochbaukonstruktionen 1 - Teil 2 – Vorlesung 2010S, TU-Wien, 2010
- Krass J., Mitransky B., Rupp G.: Grundlagen der Bautechnik, 1.Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009
- Krause T., Hoffmann M.: Beispiele aus der Baubetriebspraxis, 2.Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2012
- Krause T., Ulke B.: Zahlentafeln für den Baubetrieb, 9.Auflage, Springer, Heidelberg, 2013
- Kropik A.: Bauwirtschaft, Skriptum zu Vorlesung, WS 2007/2008, TU-Wien, 2007
- Kropik A.: Kalkulation & Kostenrechnung im Baubetrieb, Skriptum zu Vorlesung, WS 2013/2014, TU-Wien, 2013
- Kropik A.: Kosten- und Terminplanung, Skriptum zu Vorlesung, SS 2009, TU-Wien, 2009
- Lehner L.: Fertigbetonelemente im Hochbau, Diplomarbeit, TU-Wien, 2017
- Leimböck E., Klaus U.R., Höckermann O.: Baukalkulation & Projektcontrolling, 12.Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2011
- Maba Fertigteilindustrie GmbH; <https://www.maba.at>
- Mischek Systembau GmbH; <http://www.mischek-systembau.at>
- Moro J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 2 Konzeption, Springer, Heidelberg, 2009
- Moro J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail – Band 3 Umsetzung, Springer, Heidelberg, 2009
- opus C - Architektur & Design mit Beton, Ausgabe 6/2005
- Pech A., Kolbitsch A., Zach F.: Baukonstruktionen Band 5 – Decken, Springer Verlag, Wien, 2006
- PERI Ges.mbh - Schalung Gerüst Engineering; <https://www.peri.at>
- Rainer Sch., Jens O.: Baustelleneinrichtung Grundlagen – Planung – Praxishinweise - Vorschriften und Regeln, 2. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2011
- Riccabona Ch.: Baukonstruktionslehre Band 5, 5. Auflage, Manz Verlag, Wien, 2003
- Schmitt R.: Die Schalungstechnik: Systeme, Einsatz und Logistik, Ernst & Sohn, Berlin, 2001
- Schulz J.: Sichtbeton Atlas: Planung – Ausführung – Beispiele, 1. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009
- Sommer Anlagentechnik GmbH; <http://www.sommer-precast.de>

SysproPART: Die Technik zur Wand - Wie wird's gemacht? – 1. Auflage, Okt. 1997

VÖB – Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke; <https://www.voeb.com/>

VÖBV – Verband Österreichischer Biege- und Verlegetechnik; <http://www.voebv.at/>

Vollert Anlagenbau GmbH; <http://www.vollert.de>

Weckenmann GmbH & Co KG; <http://www.weckenmann.com/de>

Weiss M.: Kennzahlen für Stahlbetonarbeiten – Anwendung bei Hochbauprojekten, Diplomarbeit, TU-Graz, 2010

Zementmerkblatt B21 – Betonieren bei extremen Temperaturen, Ausgabe 12/2014, Verein deutscher Zementwerke

Zementmerkblatt B22 – Arbeitsfugen, Ausgabe 01/2002, Verein deutscher Zementwerke

Zementmerkblatt B7 – Bereiten und Verarbeiten von Beton, Ausgabe 8/2013, Verein deutscher Zementwerke

Zementmerkblatt B8 – Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons, Ausgabe 4/2014, Verein deutscher Zementwerke

Zilch K., Diederichs C.J., Katzenbach R.: Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2.Auflage, Springer, Heidelberg, 2013

Zilch K., Diederichs C.J., Katzenbach R.: Handbuch für Bauingenieure - Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, 2.Auflage, Springer, Heidelberg, 2012

## Anhang A

### Ausschnitt aus einem Schalungsplan – GRUNDRISS 2.OG

Gesamtübersicht der Wände W1 - W6

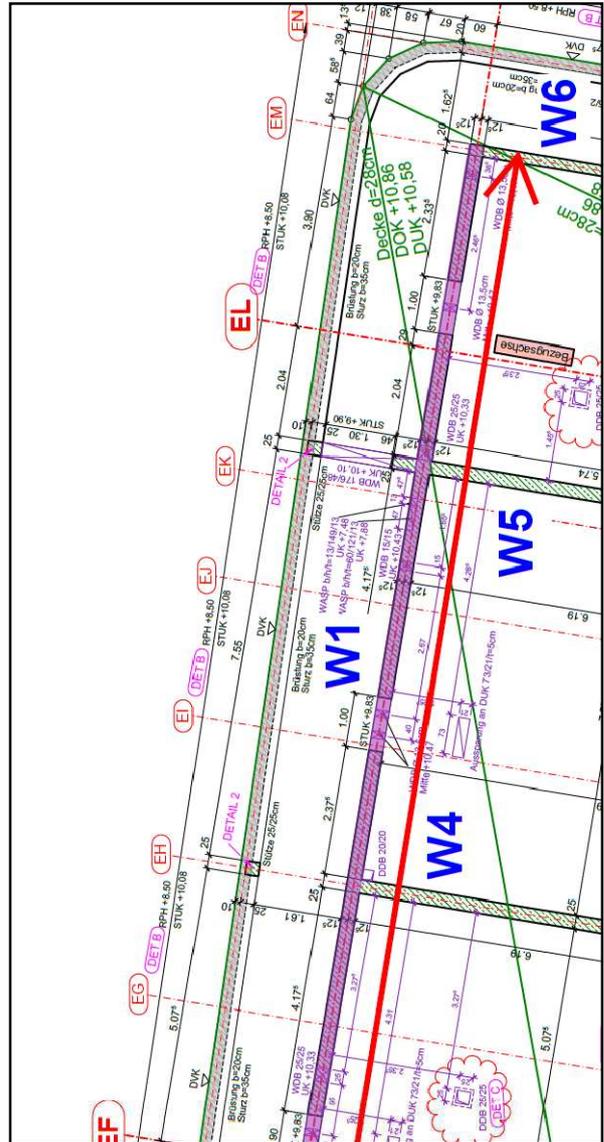
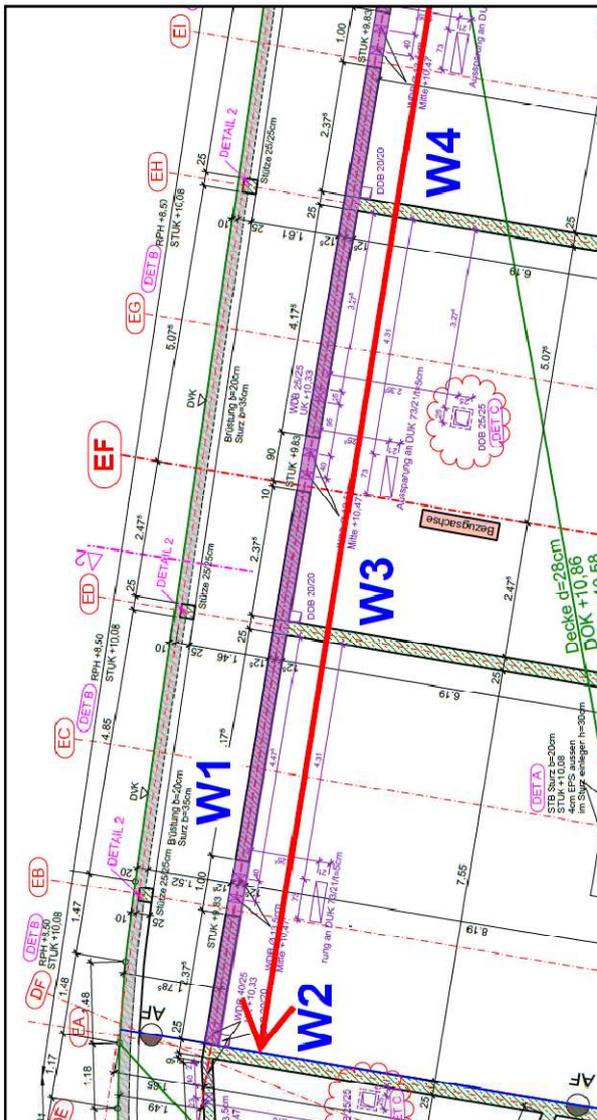
Plan nicht maßstäblich



### Ausschnitt aus einem Schalungsplan – GRUNDRISS 2.OG

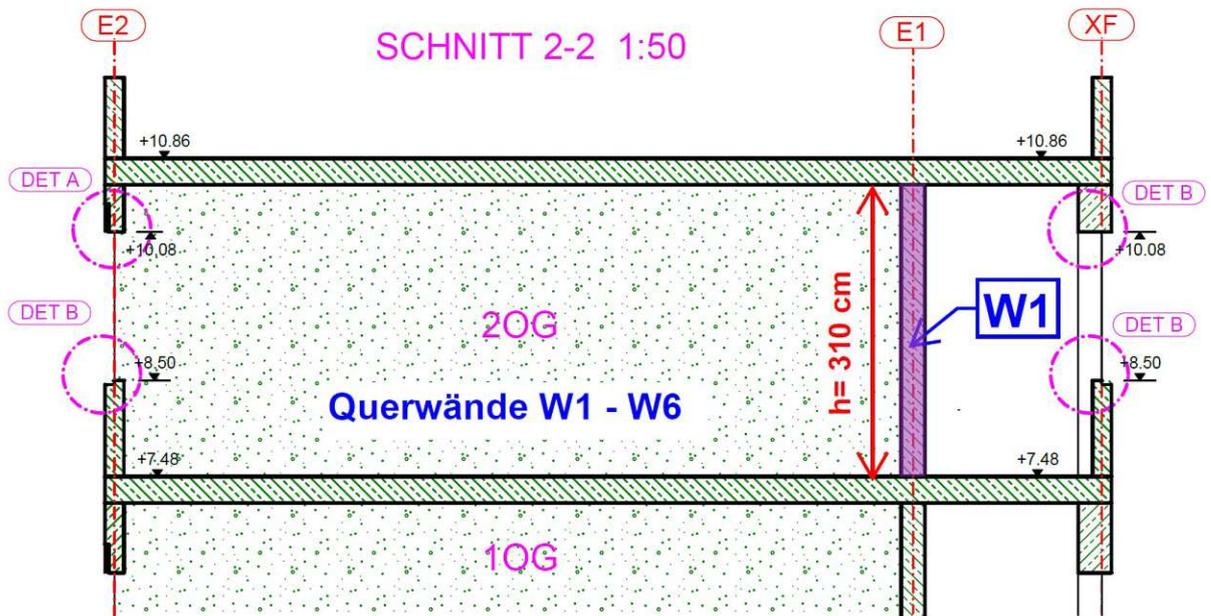
Grundriss der Wand W1 vergrößert dargestellt

Plan nicht maßstäblich



### Ausschnitt aus einem Schalungsplan – SCHNITT 2 – 2

Plan nicht maßstäblich



## Anhang B

### Hinweis zur Anzahl der gewählten Schalungseinsätze je Monat (5)

Die Einsatzzahl 5 wurde aus dem Bauablauf herausgegriffen. Der Bauablauf für die Herstellung der Ortbetonwand wurde nämlich folgendermaßen gewählt:

#### erster Tag (= Beginn der Schalungsarbeiten Wand)

Am ersten Tag werden die Wände in der Früh vom Vortag ausgeschalt. Die Schalungsteile werden gereinigt, auf die neue Geometrie abgestimmt, geölt und wieder umgesetzt. Es handelt sich dabei um die erste Wandseite, welche mit Richtstützen gesichert wird. Wandaussparungen werden angefertigt und gegebenenfalls Einbauteile (z.B. Elektro, Klappen etc.) werden an der Schalung fixiert. Am ersten Tag beginnen ebenfalls die Bewehrungsarbeiten.

#### zweiter Tag:

Die Bewehrungsarbeiten (1. und 2. Lage der Bewehrung) werden fortgesetzt und fertiggestellt. Subunternehmer (Elektriker, Installateur etc.) platzieren ihre Einbauteile während den Bewehrungsarbeiten. Die zweite Seite der Wandschalung wird aufgestellt und geankert. Am späten Nachmittag wird die Wand betoniert.

#### dritter Tag:

Am dritten Tag wird ausgeschalt und der Herstellzyklus beginnt wieder von vorne.

Für die Herstellungsdauer einer fast 30 m langen und 3,10 m hohen Wand werden daher drei Tage angenommen. Es folgt daraus:

$$\frac{20 \text{ Arbeitstage je Monat}}{3 \text{ Arbeitstage für Herstellung}} = 6,67 \text{ Einsätze der Schalung (theoretisch)}$$

Aufgrund der Anpassung an neuer Wandgeometrie, Schlechtwetter etc. wird die Einsatzzahl der Schalung mit 5 je Monat angesetzt.

Wie sich die Einsatzzahl auf die Schalungskosten für das Musterbeispiel (Abschnitt 5.3.2) auswirkt, zeigt die Berechnung in nachstehender Tabelle.

Einsätze je Mo	geschalte Fläche [m <sup>2</sup> /Mo]	Gerätekosten [€/m <sup>2</sup> ]
1	181,35 (= 1·181,35 m <sup>2</sup> )	29,57 (= 5361,96 €/181,35 m <sup>2</sup> )
2	362,70 (= 2·181,35 m <sup>2</sup> )	14,78 (= 5361,96 €/362,70 m <sup>2</sup> )
3	544,05 (= 3·181,35 m <sup>2</sup> )	9,86 (= 5361,96 €/544,05 m <sup>2</sup> )
4	725,40 (= 4·181,35 m <sup>2</sup> )	7,39 (= 5361,96 €/725,40 m <sup>2</sup> )
<b>5</b>	<b>906,75 (= 5·181,35 m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,91 (= 5361,96 €/906,75 m<sup>2</sup>)</b>
6	1088,10 (= 6·181,35 m <sup>2</sup> )	4,93 (= 5361,96 €/1088,10 m <sup>2</sup> )

## Anhang C

### Ergebnis der Preisabfrage von Transportbeton, mengengestaffelt

Betonmenge	[m3]	25	50	100	200	500	1.000	5.000	10.000	20.000	50.000	100.000
Preis für	[€/m3]	70,20	70,20	68,20	68,20	65,20	65,20	64,20	63,20	63,20	62,20	62,20
Beton C25/30 XC2	[€/m3]	68,70	68,70	67,70	67,20	66,40	66,00	66,00	64,30	64,00	63,50	63,00
(ab Werk)*	[€/m3]	74,40	74,20	73,00	73,00	72,50	71,50	71,10	69,00	69,00	67,00	66,50
Durchschnitt	[€/m3]	71,10	71,03	69,63	69,47	68,03	67,57	67,10	65,50	65,40	64,23	63,90

Preis für	[€/m3]	6,30	6,30	5,99	5,99	5,67	5,67	5,50	5,20	5,20	5,00	5,00
GK 16	[€/m3]	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,00	6,00	5,80	5,80	5,50	5,20
(Aufzahlung auf GK 32)	[€/m3]	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,10	5,10	5,10	5,10	5,00	5,00
Durchschnitt	[€/m3]	6,27	6,27	6,16	6,16	6,06	5,59	5,53	5,37	5,37	5,17	5,07

Preis für	[€/m3]	19,10	19,10	18,15	18,15	17,20	17,20	17,00	16,70	16,70	16,50	16,50
GK 8	[€/m3]	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,50	19,50	19,25	19,25	18,80	18,50
(Aufzahlung auf GK 32)	[€/m3]	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	17,00	16,50	16,50	16,50	15,50	15,00
Durchschnitt	[€/m3]	19,20	19,20	18,88	18,88	18,57	17,90	17,67	17,48	17,48	16,93	16,67

Preis für	[€/m3]	4,00	4,00	3,80	3,80	3,60	3,60	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00
F52	[€/m3]	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,90	3,90	3,70	3,70	3,50	3,50
(Aufzahlung auf F 45)	[€/m3]	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70	3,00	3,00	3,00	3,00	2,70	2,50
Durchschnitt	[€/m3]	3,90	3,90	3,83	3,83	3,77	3,50	3,47	3,33	3,33	3,07	3,00

\* ohne Landschaftsabgabe von **0,41 €/m3**

1... Betonlieferant 1	Preisbekanntgabe schriftlich am 29.11.2018
2... Betonlieferant 2	Preisbekanntgabe schriftlich am 15.12.2018
3... Betonlieferant 3	Preisbekanntgabe schriftlich am 21.12.2018

Transportkosten (aus Preislisten der Lieferanten) sind abhängig von der Transportzone (siehe untere Abbildung)

0-5 km → 0 €/m<sup>3</sup>

alle weiteren 5 km je 1,50 €/m<sup>3</sup>

Annahme für die Kalkulation: Transport bis max. 30 km → 7,50 €/m<sup>3</sup>

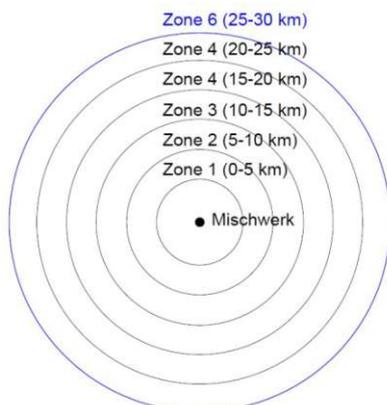
#### Zusammenstellung der Preise für folgende Betonsorten (inkl. Landschaftsabgabe + Transport)

Betonmenge	[m3]	25	50	100	200	500	1.000	5.000	10.000
C25/30 XC2 GK16 F52	[€/m3]	89,18	89,11	87,54	87,37	85,77	84,57	84,01	82,11
C25/30 XC2 GK8 F52	[€/m3]	102,11	102,04	100,26	100,09	98,28			

Preiszusammensetzung (Berechnung spaltenweise)

C25/30 XC2 GK16 F52 **89,18** = 71,10 + 6,27 + 3,90 + 0,41 + 7,50  
C25/30 XC2 + GK 8 + F52 + Landschaftsabgabe + Transport

C25/30 XC2 GK8 F52 **102,11** = 71,10 + 19,20 + 3,90 + 0,41 + 7,50  
C25/30 XC2 + GK 16 + F52 + Landschaftsabgabe + Transport



Aus wettbewerbsfähigen Gründen werden die Lieferanten nicht genannt.

**Ergebnis der Preisabfrage von Bewehrung, mengengestaffelt**

Stahlmenge	[to]	10	20	50	100	200	500	1.000	2.000	5.000	8.000	
Preis für	[€/to]	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	1
<b>BST 550 inkl. Dimensionsauflage</b>	[€/to]	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	2
für d=8-12mm (ab Werk)	[€/to]	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	3
Durchschnitt	[€/to]	<b>723,33</b>	723,33	723,33	723,33	723,33	723,33	723,33	723,33	723,33	723,33	
Preis für	[€/to]	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	1
<b>Verlegen Stabstahl für d=8-12mm</b>	[€/to]	335	335	335	335	335	335	335	335	335	335	2
	[€/to]	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	3
Durchschnitt	[€/to]	<b>355</b>	355	355	355	355	355	355	355	355	355	
Aufzahlung für	[€/to]	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1
<b>Verlegen Stabstahl Wände</b>	[€/to]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	2
	[€/to]	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	3
Durchschnitt	[€/to]	<b>120,00</b>	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	
Aufzahlung für	[€/to]	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	1
<b>Verlegen auf FT-Decken</b>	[€/to]	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	2
	[€/to]	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	3
Durchschnitt	[€/to]	<b>120,00</b>	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	
Transportanteil	[€/to]	40	20	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	

1... <b>Stahllieferant 1</b>	Preisbekanntgabe schriftlich am 11.12.2018
2... <b>Stahllieferant 2</b>	Preisabfrage telefonisch am 08.01.2019
3... <b>Stahllieferant 3</b>	Preisabfrage telefonisch am 08.01.2019

**Anmerkungen:**

Laut den befragten Stahllieferanten sind die Preise Festpreise, aber jedoch nur für ca. 1 Jahr.  
 Preise wurden angefragt für den üblichen Hochbau, gelten also nicht für Industrie- und Ingenieurbau.

**Annahme Transportkosten**

400 € PA (max. 24 t Fuhre)  
 400 € / 24 to = 16,67 €/to

Aus wettbewerbsfähigen Gründen  
 werden die Lieferanten nicht genannt.

## Ergebnis der Preisabfrage von Hohlwand, mengengestaffelt

Menge Hohlwand	[m2]	50	100	200	500	1.000	2.500	5.000	10.000	30.000	
Preis für <b>Hohlwand</b> , d=25cm, C25/30 XC2, 2 Schalen 5cm, ab Werk	[€/m2]	28,00	27,00	26,50	26,20	26,00	25,80	25,50	25,30	25,00	1
	[€/m2]	28,20	28,20	27,50	27,50	27,00	26,80	26,50	25,40	24,40	2
Durchschnitt	[€/m2]	28,10	<b>27,60</b>	27,00	26,85	26,50	26,30	26,00	25,35	24,70	
1cm <b>Mehrstärke</b> , je Schale!	[€/m2]	1,70	1,70	1,70	1,65	1,65	1,60	1,50	1,40	1,35	1
	[€/m2]	1,80	1,80	1,70	1,55	1,20	0,95	0,90	0,78	0,78	2
Durchschnitt	[€/m2]	1,75	<b>1,75</b>	1,70	1,60	1,43	1,28	1,20	1,09	1,07	
<b>WDB (&gt;2,00m2)</b>	[€/Stk]	237,00	230,00	210,00	200,00	193,00	189,00	185,00	182,00	180,00	1
	[€/Stk]	214,00	210,00	205,00	200,00	180,00	160,00	150,00	145,00	145,00	2
Durchschnitt	[€/Stk]	225,50	<b>220,00</b>	207,50	200,00	186,50	174,50	167,50	163,50	162,50	
<b>WDB (bis 0,25m2)</b>	[€/Stk]	23,20	23,00	22,70	22,00	20,00	19,00	18,56	18,40	18,20	1
	[€/Stk]	22,00	21,50	20,00	19,00	17,50	16,50	15,00	14,20	13,80	2
Durchschnitt	[€/Stk]	22,60	<b>22,25</b>	21,35	20,50	18,75	17,75	16,78	16,30	16,00	
<b>Stabstahl eingebaut</b>	[€/to]	1280	1250	1250	1200	1170	1150	1120	1100	1100	1
	[€/to]	1200	1200	1200	1150	1150	1100	1100	1100	1100	2
Durchschnitt	[€/to]	1240	<b>1225</b>	1225	1175	1160	1125	1110	1100	1100	
<b>Gitterträger eingebaut</b>	[€/to]	1380	1350	1350	1300	1270	1250	1220	1200	1200	1
	[€/to]	1200	1200	1200	1150	1150	1100	1100	1100	1100	2
Durchschnitt	[€/to]	1290	<b>1275</b>	1275	1225	1210	1175	1160	1150	1150	
<b>Körbe eingebaut</b>	[€/to]	1500	1450	1450	1420	1400	1380	1350	1300	1300	1
	[€/to]	1645	1645	1645	1600	1600	1550	1490	1490	1490	2
Durchschnitt	[€/to]	1573	<b>1548</b>	1548	1510	1500	1465	1420	1395	1395	
<b>(Fugen-) Bewehrung mitgeliefert, geschnitten + gebogen</b>	[€/to]	1280	1250	1250	1200	1170	1150	1120	1100	1100	1
	[€/to]	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	2
Durchschnitt	[€/to]	1365	<b>1350</b>	1350	1325	1310	1300	1285	1275	1275	
Anzahl der Transporte, aufgerundet	[-]	1	2	4	8	16	39	77	154	462	
Transportkosten	[€]	400	800	1600	3200	6400	15600	30800	61600	2E+05	
Transportkosten je m2 Hohlwand	[€/m2]	8,00	<b>8,00</b>	8,00	6,40	6,40	6,24	6,16	6,16	6,16	

1... <b>Fertigteilhersteller 1</b>	Preisbekanntgabe schriftlich am 21.12.2018
2... <b>Fertigteilhersteller 2</b>	Preisbekanntgabe schriftlich am 15.12.2018

**Transportkosten**

Annahme: 400 € (&lt; 125 km); max. 65 m2 Hohlwände im Orthausinnenlader, lt. Transportabteilung eines Lieferanten

Anzahl der Transporte - Bsp.: 500 m2 / 65 m2 je Fuhre = 8 Fuhren

Transportkosten je m2 Hohlwand - Bsp: (8 Fuhren · 400 € je Fuhre/500 m2)= 6,40 €/m2

**Mindermengenzuschlag**

wenn Bestellung unter 60 m2...350 € PA

350 € / 50 m2 = 7 €/m2

...lt. Fertigteilhersteller 1

wenn Bestellung unter 40 m2...100 € PA

100 € / 50 m2 = 2 €/m2

...lt. Fertigteilhersteller 2

Annahme für die Kalkulation: unter 50 m2 werden 2,25 €/m2 als Mindermengenzuschlag berücksichtigt.

Aus wettbewerbsfähigen Gründen werden die Hersteller nicht genannt.
--

## Ergebnis der Preisabfrage von Elementdecke, mengengestaffelt

Menge Elementdecke	[m2]	50	100	500	1.000	2.500	5.000	10.000	15.000	
Preis für Elementdecke, d=5cm, C25/30 XC2, inkl. DDB, Passplatten, schräge Abschalung, ab Werk	[€/m2]	12,50	12,00	10,00	9,50	9,20	9,10	9,00	9,00	1
	[€/m2]	12,50	10,50	10,00	10,00	9,50	9,50	9,45	9,45	2
Durchschnitt	[€/m2]	12,50	11,25	10,00	9,75	9,35	9,30	9,23	9,23	
<b>Stabstahl eingebaut</b>	[€/to]	1280	1250	1200	1170	1150	1120	1100	1100	1
	[€/to]	1150	1150	1100	1100	1100	1000	1000	1000	2
Durchschnitt	[€/to]	1215	1200	1150	1135	1125	1060	1050	1050	
<b>Gitterträger eingebaut</b>	[€/to]	1380	1350	1300	1270	1250	1220	1200	1200	1
	[€/to]	1150	1150	1100	1100	1100	1000	1000	1000	2
Durchschnitt	[€/to]	1265	1250	1200	1185	1175	1110	1100	1100	
<b>Körbe eingebaut</b>	[€/to]	1500	1450	1420	1400	1380	1350	1300	1300	1
	[€/to]	1600	1600	1550	1550	1550	1490	1490	1490	2
Durchschnitt	[€/to]	1550	1525	1485	1475	1465	1420	1395	1395	
<b>(Fugen-) Bewehrung mitgeliefert, geschnitten + gebogen</b>	[€/to]	1280	1250	1200	1170	1150	1120	1100	1100	1
	[€/to]	1150	1150	1100	1100	1100	1000	1000	1000	2
Durchschnitt	[€/to]	1215	1200	1150	1135	1125	1060	1050	1050	

1... Fertigteilerhersteller 1	Preisbekanntgabe schriftlich am 21.12.2018
2... Fertigteilerhersteller 2	Preisbekanntgabe schriftlich am 15.12.2018

**Transportkosten**

ca. 400 € (&lt; 125 km); max. 165 m2 ED auf Sattelfahrzeug (22 to)

400 € / 165 m2 = 2,42 €/m2

**Mindermengenzuschlag**

wenn Bestellung unter 120 m2...350 € PA

350 € / 100 m2 = 3,50 €/m2

...lt. Fertigteilerhersteller 1

wenn Bestellung unter 75 m2...100 € PA

100 € / 50 m2 = 2 €/m2

...lt. Fertigteilerhersteller 2

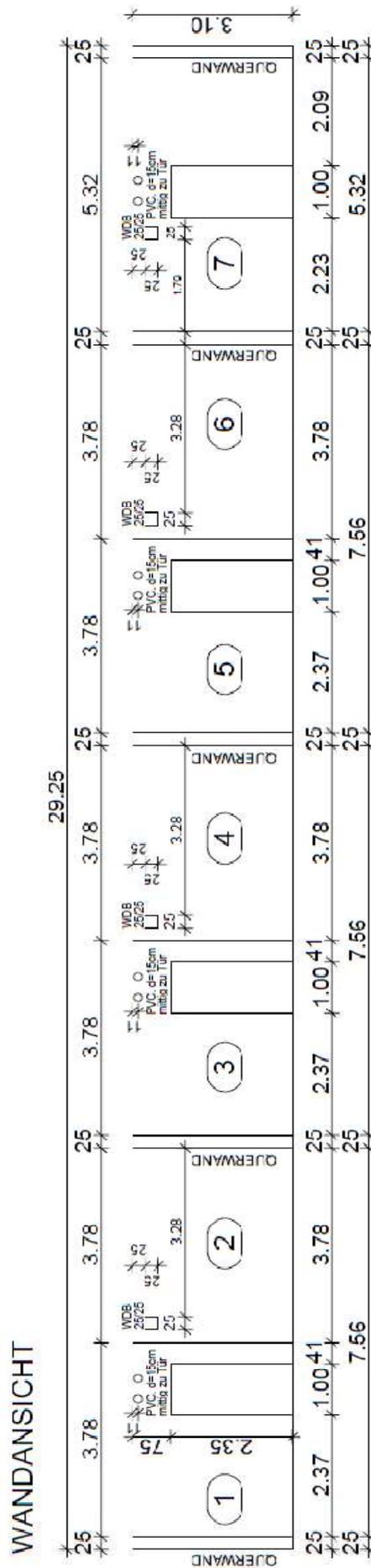
Annahme für die Kalkulation: unter 100 m2 werden 2,25 €/m2 als Mindermengenzuschlag berücksichtigt.

Aus wettbewerbsfähigen Gründen werden die Hersteller nicht genannt.
--

## Anhang D

### Aufteilungsplan Hohlwand

Dieser Plan wurde durch den Autor als Grundlage für die Hohlwandplanung gefertigt.



**Die Anzahl der Elemente wurde folgendermaßen bestimmt:**

max. Krangewicht / Flächengewicht HW = 5375 kg / 250 kg/m<sup>2</sup> = 21,50 m<sup>2</sup>  
 21,50 m<sup>2</sup> / 3,10 m Wandhöhe = 6,93 m max. zulässige Länge Hohlwand  
 daher: ein einziges Element von Querwand zu Querwand nicht möglich  
 -> Teilung erfolgt daher in Mitte der Länge von den Querwänden

Hohlwand, d= 25cm

**erforderliche Bewehrung:**

vertikal: 5 cm<sup>2</sup>/m

horizontal: 5 cm<sup>2</sup>/m

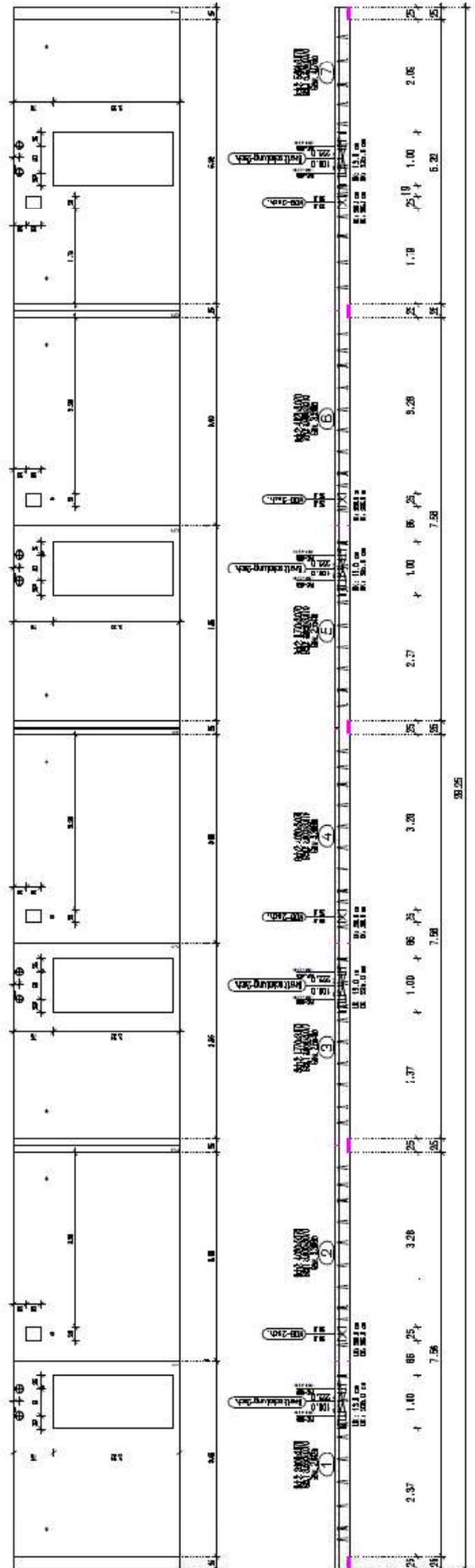
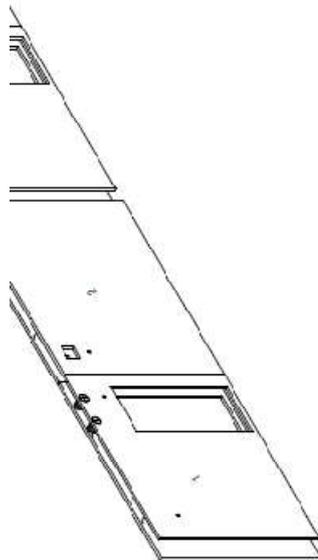
## Anhang E

### Werkszeichnung Hohlwand

Diese Hohlwandplanung erfolgte durch den Autor bei einem FT-Hersteller unter Einsatz spezieller Software.

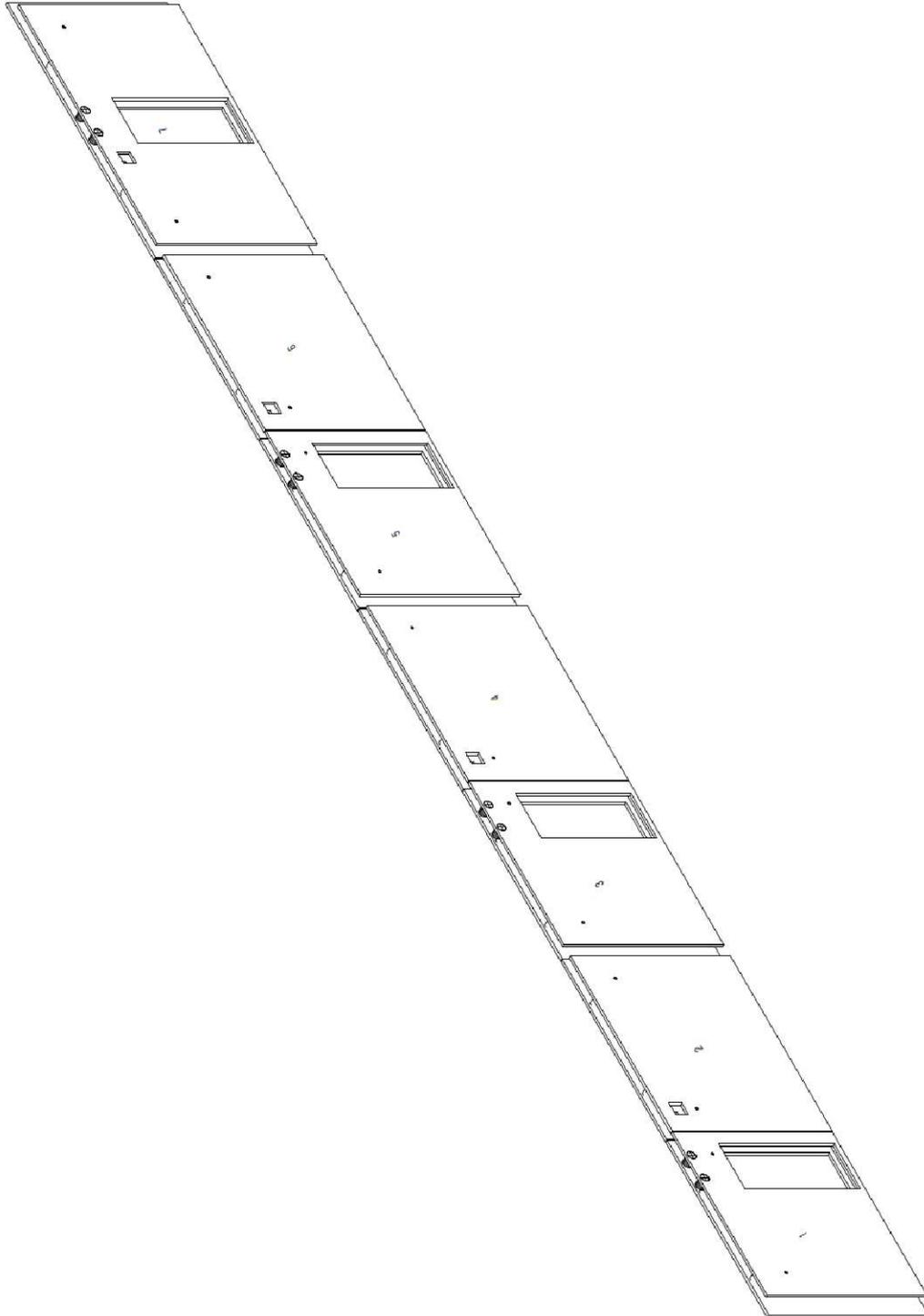
### Werkszeichnung beinhaltet:

- Grundriss
- Schnitt
- Ausschnitt einer 3D Ansicht



### 3D Ansicht der Hohlwand

Beim Erstellen der Werkszeichnung wird zunächst der Grundriss mit Höheninformationen gezeichnet. Es besteht dann die Möglichkeit, vollautomatisch eine 3D-Ansicht zu generieren.



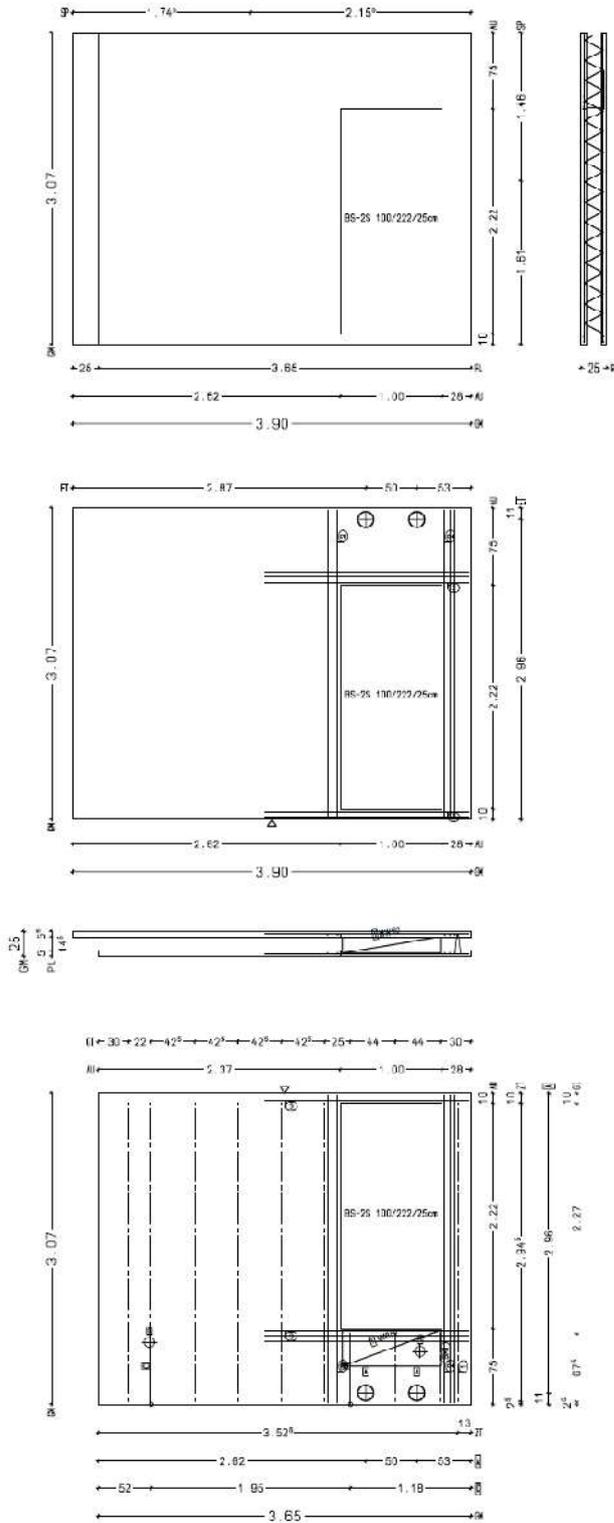
Produktionsdatenblatt Hohlwand

Produktionsdatenblatt der Plattenposition Nr. 1

Element-Nr. 1 d= 25.0 S1: C2530XC2 S2: C2530XC2

Stück Rhombusse S1: 20  
Stück Rhombusse S2: 20

Unsichtbare Schale = Schale 1



d	: 25.0 cm
Fl	: 9.75 m <sup>2</sup>
Vol	: 0.69 m <sup>3</sup>
Grw	: 2.81 t
unsichtbare Schale:	
c	: 2.0 cm
as L*	: 2.62 cm <sup>2</sup> /m
as G*	: 2.51 cm <sup>2</sup> /m
L*	: 21 d 6/18-303
O*	: 16 d 8/20-361
sichtbare Schale:	
c	: 2.0 cm
as L*	: 2.77 cm <sup>2</sup> /m
as G*	: 2.58 cm <sup>2</sup> /m
L*	: 20 d 6/20-303
O*	: 7 d 8/50-386
O*	: 6 d10/50-386
unsichtbare Schale:	
Git	: 3 RGT1930855-68
Git	: 6 RGT1930855-295
unsichtbare Schale:	
①	1x 1 RGT1930855-295
②	4x 3 d10/5-303
③	2x 3 d10/5-200
③	2x 2 d10/5-200
unsichtbare Schale:	
BM1	x
①	MW150,96x86
	35
unsichtbare Schale:	
A	2x PVC-Rohr d=150
B	2x Quicky
C	2x AFS-1.00Stk
1x Brettsch.-2sch. 100/222/25	

BVH:  
Bort.

Bauteil: HWE  
Gaschoß:

Datum: 10.01.2019

Bea:  
PlanNr.: Hohlwand

### Aufmaßblatt auf Grundlage der Werkszeichnung

Nachdem eine Werkszeichnung vorliegt, können Massen vollautomatisch generiert werden, da das Erstellen der Werkszeichnung in 3D erfolgt und dabei Makros hinterlegt werden.

```

Auftraggeber : *****
Bauvorhaben  : * AuftragNr.: *
Bauort       : * Plan Nr. : *
Bauteil      : HWE      *****
Geschoß      :          Bearbeiter :
  
```

POS.: 1-7; Gesamt: 7 Elemente

Pos	Bezeichnung	Menge
Summe Wandelement(e) Gesamt		80.72 m2
8	Hohlwaende d=25	80.72 m2
9	WDB-2S <= 0.25	4 Stk
10	Brettsch.-2S > 2.00	4 Stk
11	Gittertraeger	269.05 kg
12	Zulagetraeger	13.11 kg
13	Laengseisen	191.19 kg
14	Quereisen	335.09 kg
15	Zulageeisen	150.71 kg
16	Versatzschlaufe ( 14 Stk)	44.80 kg
17	Stahl ges. exkl. Gitt.	721.78 kg
18	Buegelmatte eingebaut	23.00 kg
19	Quicky ( 14 Stk)	80.72 m2
20	PVC-Rohr d=150	8 Stk
21	Verlegeplankosten	80.72 m2
22	Montag.Kleinmaterial	80.72 m2
23	Schraegstuetzen Grundmiete	80.72 m2
24	Typ 2	14.00 Stk

Die erforderliche Bewehrung wird mit der eingebauten Bewehrung in den HW-Elementen verglichen. Einige Informationen werden aus obigem Aufmaßblatt entnommen.

#### Ortbetonbauweise:

$$\begin{aligned}
 \text{Mindestbewehrung} &= \text{Hohlwandflaeche aus Aufmaessblatt} \cdot \text{Flaechengewicht Mindestbewehrung} \\
 &= 80,72 \text{ m}^2 \cdot 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 633,65 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### Fertigteilebauweise:

$$\text{Stahlgewicht gesamt ohne Gittertraeger} = 721,78 \text{ kg (siehe Pos 17 oben)}$$

Anteil der Bewehrung ueber der Mindestbewehrung:

$$721,78 \text{ kg} - 633,65 \text{ kg} = 88,13 \text{ kg}$$

Prozentuell betraegt die Mehrbewehrung des Stabstahls:

$$\frac{721,78 \text{ kg}}{633,65 \text{ kg}} \cdot 100 = 113,91 \% \rightarrow 13,91 \% \text{ Mehrbewehrung}$$

## Anhang F

### Protokoll über die Zeitmessungen am 20.02.2018 von den Versetzarbeiten betreffend den Hohlwänden

Am 20.02.2018 und 21.02.2018 um 8 bis 16 Uhr wurde ein Projekt, bei welchem Hohlwände eingesetzt wurden, für die erforderlichen Zeitmessungen besichtigt. Durch die Zeitmessungen sollen Kennwerte abgeleitet werden, um den Lohnaufwand der Versetzarbeiten abschätzen zu können.

14 Stück Hohlwandelemente mit  $b/h = 2,75 / 2,90$  m wurden durch einen Turmdrehkran „just in time“, also direkt aus dem Innenlader heraus, versetzt. Die Länge der Wand betrug 40 m. Die Distanz vom Innenlader und der am weitesten entfernte Stelle betrug 35 m. Es handelte sich dabei um die ersten zwei Lieferungen des Projekts, welche in der Früh versetzt wurden (Einarbeitungseffekt fehlt!). Die Arbeiten wurden nicht mit dem Eigenpersonal der Baufirma durchgeführt, sondern ein Subunternehmer wurde für diese Arbeiten engagiert. Die Montagekolonne bestand aus vier Mann, welche mit dem Versetzen von Hohlwänden vertraut war. Die Richtstützen wurden direkt auf die Bodenplatten befestigt. Es bestanden keine beengten Platzverhältnisse.

Für folgende teils zusammenfassende Tätigkeiten wurden Zeitmessungen durchgeführt:

- Gemessene Zeit für Vorarbeiten, bestehend aus Anreißen, Höhennivellement mit Unterlagsplatten: zwei Mann benötigten dafür 2,5 h.
- Gemessene Zeit für den Montagevorgang: in 5,5 h waren durch vier Mann 14 Elemente versetzt und mit 28 Richtstützen gesichert und eingerichtet.
- Gemessene Zeit für Bodenfuge und vertikale Fugen ab- und ausschalen, Fugenkörbe reinstellen, Türaussparungen ab- und ausschalen, Wandecken aussteifen und Richtstützen entfernen. Diese Arbeiten wurden teilweise am darauffolgenden Tag (21.02.2018) durchgeführt. Die Zeit wurde an einem Element gemessen und betrug 25 min. Nur ein Mann war an diesem Element mit den Arbeiten beschäftigt.

Folgende Aufwandswerte können aus diesen Zeitmessungen abgeleitet werden:

- Vorarbeiten

$$\frac{2 \text{ Mann} \cdot 2,5 \text{ h}}{14 \text{ Elemente}} = 0,36 \text{ h/EL} \quad \text{oder:} \quad \frac{2 \text{ Mann} \cdot 2,5 \text{ h}}{14 \cdot (2,75 \cdot 2,90)} = 0,045 \text{ h/m}^2$$

- Versetzvorgang

$$\frac{4 \text{ Mann} \cdot 5,5 \text{ h}}{14 \text{ Elemente}} = 1,57 \text{ h/EL} \quad \text{oder:} \quad \frac{4 \text{ Mann} \cdot 5,5 \text{ h}}{14 \cdot (2,75 \cdot 2,90)} = 0,197 \text{ h/m}^2$$

- Fugen, WDB, Ecken ab- und ausschalen, etc.

$$1 \text{ Mann} \cdot \frac{25 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} \cdot 1 \text{ Elemente} = 0,416 \frac{\text{h}}{\text{EL}} \quad \text{bzw.} \quad 1 \text{ Mann} \cdot \frac{25 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} \cdot 1 \cdot 2,75 \cdot 2,90 = 0,052 \frac{\text{h}}{\text{m}^2}$$

- summierter Gesamtaufwand ohne Betonieren ergibt:

$$0,36 + 1,57 + 0,416 \approx 2,35 \frac{\text{h}}{\text{EL}} \quad \text{bzw.} \quad 0,045 + 0,197 + 0,052 \approx 0,29 \frac{\text{h}}{\text{m}^2}$$

Annahmen für die Kalkulation im Abschnitt 5.3.3 – Lohnkosten Versetzarbeiten

Vorarbeiten: AW = 0,36 h/EL

Versetzvorgang: AW = 1,50 h/EL (Einarbeitungseffekt in gewissem Maße berücksichtigt)

Fugen, WDB, Ecken ab- und ausschalen, etc.: AW = 0,42 h/EL

## Anhang G

### Berechnung der Kosten von Aussparungen in Hohlwänden

Teil 1 / 2

Stückkosten der Wandaussparungen siehe Anhang C.

Hohlwandfläche:		50 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
2	1,0/2,35	2,35	225,50	451,00	
4	Rund, d= 0,135	0,014	22,6	90,40	
2	0,25/0,25	0,063	22,6	45,20	
Summe		2,427		586,60	11,73

Hohlwandfläche:		100 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
4	1,0/2,35	2,35	220,00	880,00	
8	Rund, d= 0,135	0,014	22,25	178,00	
4	0,25/0,25	0,063	22,25	89,00	
Summe		2,427		1.147,00	11,47

Hohlwandfläche:		200 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
8	1,0/2,35	2,35	207,50	1.660,00	
16	Rund, d= 0,135	0,014	21,35	341,60	
8	0,25/0,25	0,063	21,35	170,80	
Summe		2,427		2.172,40	10,86

Hohlwandfläche:		500 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
20	1,0/2,35	2,35	200,00	4.000,00	
40	Rund, d= 0,135	0,014	20,5	820,00	
20	0,25/0,25	0,063	20,5	410,00	
Summe		2,427		5.230,00	10,46

Hohlwandfläche:		1.000 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
40	1,0/2,35	2,35	186,50	7.460,00	
80	Rund, d= 0,135	0,014	18,75	1.500,00	
40	0,25/0,25	0,063	18,75	750,00	
Summe		2,427		9.710,00	9,71

## Teil 2/2

Hohlwandfläche:		2.500 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
100	1,0/2,35	2,35	174,50	17.450,00	
200	Rund, d= 0,135	0,014	17,75	3.550,00	
100	0,25/0,25	0,063	17,75	1.775,00	
Summe		2,427		22.775,00	9,11

Hohlwandfläche:		5.000 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
200	1,0/2,35	2,35	167,50	33.500,00	
400	Rund, d= 0,135	0,014	16,78	6.712,00	
200	0,25/0,25	0,063	16,78	3.356,00	
Summe		2,427		43.568,00	8,71

Hohlwandfläche:		10.000 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
400	1,0/2,35	2,35	163,50	65.400,00	
800	Rund, d= 0,135	0,014	16,30	13.040,00	
400	0,25/0,25	0,063	16,30	6.520,00	
Summe		2,427		84.960,00	8,50

Hohlwandfläche:		30.000 m <sup>2</sup>			
Anzahl WDB [Stk]	Größe WDB b/h [m]	Fläche WDB je Stk [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€ je Stk]	Gesamtkosten [€]	[€/m <sup>2</sup> ]
1.200	1,0/2,35	2,35	162,50	195.000,00	
2.400	Rund, d= 0,135	0,014	16	38.400,00	
1.200	0,25/0,25	0,063	16	19.200,00	
Summe		2,427		252.600,00	8,42

## Anhang H

### Ermittlung der Materialkosten von Kernbeton

Wandansichtsfläche	[m <sup>2</sup> ]	50	100	200	500	1.000	2.500	5.000	10.000	30.000
lfm Wände (h= 3,10m)	[lfm]	16,13	32,26	64,52	161,29	322,58	806,45	1.612,90	3.225,81	9.677,42
Kernbeton GK 8	[m <sup>3</sup> ]	0,63	1,26	2,51	6,29	12,57	31,43	62,85	125,71	377,13
Kernbeton GK 16	[m <sup>3</sup> ]	6,10	12,20	24,39	60,98	121,97	304,92	609,84	1.219,68	3.659,03
C 25/30 XC2 GK8 F52	[€/m <sup>3</sup> ]	102,11	102,11	102,11	102,11	102,11	102,09	101,58	100,22	99,02
C 25/30 XC2 GK16 F52	[€/m <sup>3</sup> ]	89,18	89,18	89,18	88,77	87,50	86,81	85,50	84,53	84,19
Kernbeton Kosten je m <sup>2</sup>	[€/m <sup>2</sup> ]	12,16	12,16	12,16	12,11	11,96	11,87	11,71	11,57	11,51

beispielhafte Berechnung der Spalte mit 50 m<sup>2</sup> Wandansichtsfläche:

$$\text{lfm Wände: } \frac{50 \text{ m}^2}{3,10 \text{ m}} = 16,13 \text{ m}$$

$$\text{Kernbeton GK 8 : } 0,03897^{231} \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \cdot 16,13 \text{ m} = 0,63 \text{ m}^3$$

$$\text{Kernbeton GK 16: } 0,3781^{232} \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \cdot 16,13 \text{ m} = 6,10 \text{ m}^3$$

C 25/30 XC2 GK 8 F52 + C 25/30 XC2 GK 16 F52: Die Betonpreise wurden aus Anhang C entnommen und interpoliert.

$$\text{Kernbeton Kosten je m}^2: \frac{0,63 \text{ m}^3 \cdot 102,11 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + 6,10 \text{ m}^3 \cdot 89,18 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}}{50 \text{ m}^2} = 12,16 \text{ €/m}^2$$

Berechnung der restlichen Spalten erfolgt analog!

<sup>231</sup> Wert 0,03897 aus Abschnitt 5.3.3 - Materialkosten Kernbeton Hohlwand

<sup>232</sup> Wert 0,3781 aus Abschnitt 5.3.3 - Materialkosten Kernbeton Hohlwand

## Anhang I

## Preisliste Transportbeton

Druckfestigkeitsklasse	Kurzbezeichnung	EH	Lieferbeton 1	Lieferbeton 2	Lieferbeton 3	Durchschnitt
			€/EH	€/EH	€/EH	€/EH
C 20/25	XO (A)	m <sup>3</sup>	90,00	77,00	-	83,50
	XC1	m <sup>3</sup>	90,00	77,00	78,70	81,90
	XC2	m <sup>3</sup>	91,00	79,00	79,70	83,23
C 25/30	XC1	m <sup>3</sup>	91,00	80,00	81,30	84,10
	XC2	m <sup>3</sup>	91,00	80,00	82,30	84,43
	B1	m <sup>3</sup>	94,00	82,00	88,00	88,00
	B2	m <sup>3</sup>	96,00	85,00	90,10	90,37
	B3	m <sup>3</sup>	98,50	87,00	96,80	94,10
	B4	m <sup>3</sup>	100,00	89,00	93,70	94,23
	B5	m <sup>3</sup>	102,50	91,00	98,60	97,37
	B6 C3A-frei	m <sup>3</sup>	119,50	108,00	120,80	116,10
	B7	m <sup>3</sup>	110,00	99,00	105,40	104,80
	B8	m <sup>3</sup>	100,00	89,00	-	63,00
	B9	m <sup>3</sup>	102,00	91,00	-	64,33
	B10	m <sup>3</sup>	102,00	91,00	-	64,33
B11	m <sup>3</sup>	104,00	93,00	-	65,67	
B12	m <sup>3</sup>	106,00	95,00	-	67,00	
C 30/37	XC1	m <sup>3</sup>	95,00	83,00	86,40	88,13
	XC2	m <sup>3</sup>	95,00	83,00	86,40	88,13
	B1	m <sup>3</sup>	98,00	86,00	94,10	92,70
	B2	m <sup>3</sup>	100,00	89,00	96,20	95,07
	B3	m <sup>3</sup>	102,50	91,00	102,90	98,80
	B4	m <sup>3</sup>	104,00	93,00	99,80	98,93
	B5	m <sup>3</sup>	106,50	95,00	105,00	102,17
B6 C3A-frei	m <sup>3</sup>	123,50	112,00	126,90	120,80	
B7	m <sup>3</sup>	114,00	103,00	111,50	109,50	
C 35/45	XC1	m <sup>3</sup>	103,00	91,00	-	64,67
	XC2	m <sup>3</sup>	103,00	91,00	93,90	95,97
	B1	m <sup>3</sup>	106,00	94,00	98,20	99,40
	B2	m <sup>3</sup>	108,00	97,00	100,30	101,77
	B3	m <sup>3</sup>	110,50	99,00	107,00	105,50
	B4	m <sup>3</sup>	112,00	101,00	105,90	106,30
B5	m <sup>3</sup>	114,50	103,00	110,10	109,20	
C 40/50	XC1	m <sup>3</sup>	107,00	96,00	-	67,67
	XC2	m <sup>3</sup>	107,00	96,00	101,40	101,47
	B1	m <sup>3</sup>	110,00	99,00	105,90	104,97
	B2	m <sup>3</sup>	112,00	102,00	108,00	107,33
	B3	m <sup>3</sup>	114,50	104,00	-	72,83
	B4	m <sup>3</sup>	116,00	106,00	111,60	111,20
B5	m <sup>3</sup>	118,50	108,00	-	75,50	

## Preisliste Aufzahlungen auf Transportbeton

Aufzahlungen für besondere Eigenschaften	EH	Lieferbeton 1	Lieferbeton 2	Lieferbeton 3	Durchschnitt
		€/EH	€/EH	€/EH	€/EH
Pumpbeton (ab C 16/20, F45) bis 50m Leitungslänge inkl. Mast	m <sup>3</sup>	4,10	3,00	4,10	3,73
Pumpbeton (ab C 16/20, F52) über 50m Leitungslänge inkl. Mast	m <sup>3</sup>	5,50	5,00	6,20	5,57
Schmiermische (ab C 16/20, F52) über 50m Leitungslänge inkl. Mast	m <sup>3</sup>	25,00	-	100,00	62,50
Pumpbeton (ab C 16/20, F52, GK16) für Schlauch- leitungen bis DN 100 bis 50m Leitungslänge inkl. Mast	m <sup>3</sup>	17,50	16,00	16,50	16,67
Pumpbeton (ab C 25/30 B2, F52, GK16) für Schlauch- leitungen bis DN 100 über 50m Leitungslänge inkl. Mast	m <sup>3</sup>	17,50	16,00	16,50	16,67
Beton mit geringer Blutneigung	m <sup>3</sup>	5,00	5,00	5,00	5,00
Beton mit reduziertem Schwinden	m <sup>3</sup>	14,40	14,00	15,00	14,47
Beton mit stark reduziertem Schwinden	m <sup>3</sup>	19,50	18,00	18,00	18,50
Selbstverdichtender Beton (ab C 25/30, GK16)	m <sup>3</sup>	40,00	39,00	37,60	38,87
Sichtbeton (ab C 25/30, B2)	m <sup>3</sup>	3,50	-	4,00	3,75
Aufzahlung Konsistenz - F52	m <sup>3</sup>	4,00	4,00	4,00	4,00
Aufzahlung Konsistenz - F59	m <sup>3</sup>	8,00	8,00	8,00	8,00
Aufzahlung Konsistenz - F66	m <sup>3</sup>	auf Anfrage	11,00	15,00	13,00
Aufzahlung Konsistenz - F73	m <sup>3</sup>	auf Anfrage	14,00	-	14,00
Aufzahlung Größtkorn - GK 4	m <sup>3</sup>	29,00	29,00	28,90	28,97
Aufzahlung Größtkorn - GK 8	m <sup>3</sup>	20,00	20,00	19,10	19,70
Aufzahlung Größtkorn - GK 16	m <sup>3</sup>	6,50	6,50	6,30	6,43
Aufzahlung Größtkorn - GK 22	m <sup>3</sup>	2,00	2,00	3,60	2,53
Fließmittel	m <sup>3</sup>	6,00	6,00	6,00	6,00
Luftporenbildner	m <sup>3</sup>	6,00	6,00	-	6,00
Abbindebeschleuniger (chloridhaltig)	m <sup>3</sup>	auf Anfrage	35,00	50,00	42,50
Verzögerer (6 h)	m <sup>3</sup>	6,20	6,00	10,00	7,40
Verzögerer (12 h)	m <sup>3</sup>	10,50	9,00	auf Anfrage	9,75
Winterschwernzuschlag (1. Nov - 31. März)	m <sup>3</sup>	7,00	6,00	7,00	6,67

## Preisliste für Betonförderung

Preise für Betonförderung (Betonpumpen)		EH	Lieferbeton 1	Lieferbeton 2	Lieferbeton 3	Durchschnitt
Preise gelten für Ø Fördermengen > 20 m <sup>3</sup> /h	Mastlänge [m]		€/EH	€/EH	€/EH	€/EH
Preise gelten für Mindestförderleistung von 15 m <sup>3</sup> /h						
An- und Abfahrt inkl. Förderung 20 m <sup>3</sup> Beton	20 - 36	Pa	410,00	390,00	346,00	382,00
An- und Abfahrt inkl. Förderung 20 m <sup>3</sup> Beton	37 - 42	Pa	520,00	470,00	416,00	468,67
An- und Abfahrt inkl. Förderung 20 m <sup>3</sup> Beton	43 - 52	Pa	680,00	690,00	566,00	645,33
Förderung über 20 m <sup>3</sup> je m <sup>3</sup>	20 - 36	m <sup>3</sup>	11,00	11,00	9,40	10,47
Förderung über 20 m <sup>3</sup> je m <sup>3</sup>	37 - 42	m <sup>3</sup>	13,20	13,00	11,40	12,53
Förderung über 20 m <sup>3</sup> je m <sup>3</sup>	43 - 52	m <sup>3</sup>	17,30	21,00	15,40	17,90
An- und Abtransport von Rohr- und Schlauchleitungen über 50m (ohne Verlegung)		Pa	320,00	300,00	315,00	311,67
Beistellen von Rohrleitungen je lfm je Tag		lfm	5,50	4,50	4,10	4,70
Unterschreitung der Mindestpumpleistung (< 15 m <sup>3</sup> /h)						
An- und Abfahrt	20 - 36	Pa		160,00	134,30	147,15
An- und Abfahrt	37 - 42	Pa		192,00	161,20	176,60
An- und Abfahrt	43 - 52	Pa	262,50	276,00	180,00	239,50
zuzüglich Regie je begonnener 1/2 Stunde	20 - 36	0,5 h		75,50	67,15	71,33
zuzüglich Regie je begonnener 1/2 Stunde	37 - 42	0,5 h		90,00	80,60	85,30
zuzüglich Regie je begonnener 1/2 Stunde	43 - 52	0,5 h	87,50	108,00	90,00	95,17

## Preisliste Hohlwand

Preisliste für Hohlwände	EH	FT-Firma 1	FT-Firma 2	FT-Firma 3	Durchschnitt*
		€/EH	€/EH	€/EH	€/EH
Hohlwand d= 18, 20, 25, 30	m <sup>2</sup>	43,40	34,90	42,98	39,15
Hohlwand d= 35, 40	m <sup>2</sup>	45,90	39,10	42,98	42,50
Hohlwand d= 45, 50	m	48,40	-	-	48,40
Aufpreis Betongüte C 30/37 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	1,50	2,30	0,00	1,90
Aufpreis Betongüte C 35/45 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	2,90	-	2,45	2,68
Aufpreis B1 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	1,50	2,30	-	1,90
Aufpreis B2 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	1,50	2,15	-	1,83
Aufpreis B3 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	2,90	3,25	3,15	3,10
Aufpreis B4 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	1,50	-	-	1,50
Aufpreis B5 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	2,90	3,55	-	3,23
Aufpreis B6 C3A-frei (je Schale!)	m <sup>2</sup>	4,27	-	-	4,27
Aufpreis B7 (je Schale!)	m <sup>2</sup>	2,90	4,55	3,36	3,60
Aufpreis Mehrbeton, je 0,5 cm (je Schale!)	½ cm	0,81	0,50	0,00	0,66
Bewehrung eingebaut	to	1.450,00	1.300,00	1.210,00	1.320,00
Gitterträger eingebaut	to	1.575,00	1.300,00	1.210,00	1.361,67
Bewehrungskörbe eingebaut	to	2.200,00	1.550,00	1.650,00	1.800,00
Aussparung rechteckig bis 0,25 m <sup>2</sup>	Stk	22,50	22,50	0,00	22,50
Aussparung rechteckig von 0,26 m <sup>2</sup> bis 0,50 m <sup>2</sup>	Stk	44,50	62,00	0,00	53,25
Aussparung rechteckig von 0,51 m <sup>2</sup> bis 0,75 m <sup>2</sup>	Stk	66,80	62,00	0,00	64,40
Aussparung rechteckig von 0,76 m <sup>2</sup> bis 1,00 m <sup>2</sup>	Stk	89,00	62,00	0,00	75,50
Aussparung rechteckig ab 1,01 m <sup>2</sup> bis 1,50 m <sup>2</sup>	Stk	130,00	145,00	0,00	137,50
Aussparung rechteckig ab 1,51 m <sup>2</sup> bis 2,00 m <sup>2</sup>	Stk	170,00	145,00	0,00	157,50
Aussparung rechteckig > 2,00 m <sup>2</sup>	Stk	230,00	178,00	0,00	204,00
Aufzahlung Elementfläche < 5 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	7,29	6,50	0,00	6,90
Aufzahlung Elemente über 3,40 m Höhe	m <sup>2</sup>	3,64	-	0,00	3,64
Aufzahlung schräge Abschalung (je Schale!)	lfm	7,95	-	0,00	7,95
Schalter-, Verteiler-, Abzweigdose liefern + einbauen	Stk	12,00	6,00	0,00	9,00
FXP-Leerrohrung d= 25 mm liefern + einbauen	lfm	3,10	5,00	0,00	4,05
Rohrdurchführung Ø 200 für d= 20-30 cm ohne Dichteinsatz	Stk	100,00	100,00	116,75	105,58
Anschlusseisen Ø 10/15 einreihig	lfm	32,35	28,00	0,00	30,18
Fensterzarge PVC 100/80/25-30	Stk	302,00	-	-	302,00
Montagekleinmaterial (Schrauben, Dübel, Unterlagsplatten)	m <sup>2</sup>	0,00	0,80	0,00	0,40
Miete - Montagestützen bis 4,5 m je Tag (ohne Abtransport)	Stk/m <sup>2</sup>	1,50 €/m <sup>2</sup>	0,80 €/m <sup>2</sup>	0,30 €/Stk	1,15 €/m <sup>2</sup>
Bewehrungskorb I-Form	Stk	27,90	19,61	-	23,76
Bewehrungskorb L-Form	Stk	50,30	35,40	-	42,85
Bewehrungskorb T-Form	Stk	54,60	38,47	-	46,54
Bewehrungsmatte I-Form	Stk	9,40	6,57	8,02	8,00
Bewehrungsmatte L-Form	Stk	10,60	7,42	11,93	9,98

Der Durchschnitt der Preise (v.a. der Grundpreis) wurde von FT-Firma 1 und FT-Firma 2 gebildet („ähnliche“ Anbieter). Bei FT-Firma 3 beträgt der Grundpreis 42,98 €/m<sup>2</sup>, wenn eine Menge unter 1.000 m<sup>2</sup> bestellt wird. Über 1.000 m<sup>2</sup> Bestellmenge reduziert sich der Grundpreis auf 41,21 €/m<sup>2</sup>.

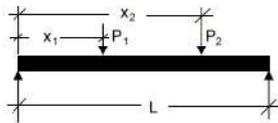
## Preisliste Elementdecke

Preisliste für Elementdecke	EH	FT-Firma 1	FT-Firma 2	FT-Firma 3	Durchschnitt*
		€/EH	€/EH	€/EH	€/EH
Plattenpreis / Grundpreis	m <sup>2</sup>	17,50	11,40	15,29	16,40
Aufpreis Passplatten	m <sup>2</sup>	0,00	0,85	0,00	0,00
Aufpreis schräge Abschalung	m	0,00	-	0,00	0,00
Aufpreis Betongüte C 30/37	m <sup>2</sup>	1,46	1,15	0,00	0,73
Aufpreis Betongüte C 35/45	m <sup>2</sup>	2,90	-	1,22	2,06
Aufpreis B1	m <sup>2</sup>	1,46	1,15	-	1,46
Aufpreis B2	m <sup>2</sup>	1,46	2,15	-	1,46
Aufpreis B3	m <sup>2</sup>	2,90	3,25	1,58	2,24
Aufpreis B4	m <sup>2</sup>	1,46	-	-	1,46
Aufpreis B5	m <sup>2</sup>	2,90	3,55	-	2,90
Aufpreis B6 C3A-frei	m <sup>2</sup>	4,27	-	-	4,27
Aufpreis B7	m <sup>2</sup>	2,90	4,55	1,68	2,29
Aufpreis Mehrbeton, je 0,5 cm	½ cm	0,81	0,50	0,00	0,41
Bewehrung eingebaut	to	1.450,00	1.300,00	1.210,00	1.320,00
Gitterträger eingebaut	to	1.575,00	1.300,00	1.210,00	1.361,67
Bewehrungskörbe eingebaut	to	2.200,00	1.555,00	1.650,00	1.801,67
Aussparung rechteckig bis 0,25 m <sup>2</sup>	Stk	0,00	8,50	0,00	0,00
Aussparung rechteckig von 0,26 m <sup>2</sup> bis 0,50 m <sup>2</sup>	Stk	0,00	8,50	0,00	0,00
Aussparung rechteckig von 0,51 m <sup>2</sup> bis 0,75 m <sup>2</sup>	Stk	0,00	8,50	0,00	0,00
Aussparung rechteckig von 0,76 m <sup>2</sup> bis 1,00 m <sup>2</sup>	Stk	0,00	8,50	0,00	0,00
Aussparung rechteckig ab 1,01 m <sup>2</sup>	Stk	0,00	10,80	0,00	0,00
Kleinaussparung 5/5 (Elektro-DDB)	Stk	-	6,00	0,00	0,00
Standard Elektro Dosen	Stk	0,00	6,00	0,00	0,00
Einbau von beigestellten Isokörben	lfm	39,00	38,00	33,28	36,76
Wassernase	lfm	8,80	11,00	0,00	4,40

Der Durchschnitt der Preise (v.a. der Grundpreis) wurde von FT-Firma 1 und FT-Firma 3 gebildet, da diese ihre Leistungen auf die gleiche Art anbieten. Bei diesen Anbietern ist der durchschnittliche Plattenpreis lt. Liste um 43 % höher als jener der FT-Firma 2. Dafür ist aber der Aufpreis für Passplatten und schräge Abschalung und nahezu alle Aussparungen gleich Null (rot markierte Werte). Bei FT-Firma 3 beträgt der Plattenpreis 15,29 €/m<sup>2</sup>, wenn eine Menge unter 2.000 m<sup>2</sup> bestellt wird. Über 2.000 m<sup>2</sup> Bestellmenge reduziert sich der Plattenpreis auf 12,94 €/m<sup>2</sup>.

# Anhang J

## EDV-unterstützte Stahlbetonbemessung



Material	$f_{ok} =$	25,00 N/mm <sup>2</sup>	$\gamma_c =$	1,50
Beton:	$f_{cm} =$	33,0 N/mm <sup>2</sup>	$\gamma_s =$	1,15
C 25/30	$f_{ctm} =$	2,6 N/mm <sup>2</sup>	$\gamma_{s1} =$	1,35
Bewehrung:	$E_s =$	31.000 N/mm <sup>2</sup>	$\gamma_{s2} =$	1,50
BSt 550	$f_{yk} =$	550,00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd} =$	16,67 N/mm <sup>2</sup>
	$E_s =$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{sd} =$	478,26 N/mm <sup>2</sup>

### Geometrische und Statische Werte

Höhe	$h =$	20,0 cm	$a_s =$	6,45		
Breite	$b =$	100 cm	$A_c =$	2000 cm <sup>2</sup>	$e_o =$	6,80 cm
Betonüberdeckung	$c =$	2,50 cm	$A_s =$	2031 cm <sup>2</sup>	$e_i =$	6,70 cm
Bewehrung	$\phi_s =$	14,0 mm	$I_c =$	68667 cm <sup>4</sup>	$e_u =$	3,20 cm
stat. Nutzhöhe	$d =$	16,8 cm	$I_s =$	68082 cm <sup>4</sup>	$z_u =$	9,90 cm
Mindestbew.	$A_{s,min} =$	2,18 cm <sup>2</sup> /m				
Lichte Weite	$L_w =$	4,75 m	Stützweite =	5,00 m		
Auflagertiefe	$a =$	25,00 cm				

### Belastung

Eigengewicht	Flächenlast		Punktlast oder Linienlast quer zur Spannrichtung	
	$g =$	5,00 kN/m <sup>2</sup>	1	2
ständig	$g_1 =$	2,00 kN/m <sup>2</sup>	Anteil ständig =	70% 70%
veränderlich	$q =$	3,00 kN/m <sup>2</sup>	$P_1 =$	0,00 0,00 kN/m
quasi-ständig	$q_{k,2} =$	7,90 kN/m <sup>2</sup>	$x_1 =$	0,00 0,00 m
gesamt Flächenlast: design	$q_d =$	13,95 kN/m <sup>2</sup>	Mw.Breite - M	1,00 1,00 m
	$g_{gesamt} =$	7,00 kN/m <sup>2</sup>	Mw.Breite - Q	1,00 1,00 m
			$x_i =$	Abstand vom linken Auflager
			Linienlast parallel zur Spannrichtung	
			Anteil ständig =	75%
			$p =$	0,00 kN/m
			Mw.Breite-M	Mw.Breite-Q
			max	6,80 1,25 m
			tatsächlich	1,00 1,00 m

### Schnittkraft für Biegemoment

$A_v =$	34,88 kN/m	$B_v =$	34,88 kN/m	$A_v =$	19,75	$B_v =$	19,75
$Q_{11} =$	34,88 kN/m	$Q_{1r} =$	34,88 kN/m	$Q_{11} =$	19,75	$Q_{1r} =$	19,75
$Q_{21} =$	34,88 kN/m	$Q_{2r} =$	34,88 kN/m	$Q_{21} =$	19,75	$Q_{2r} =$	19,75
$M_{sd} =$	43,59 KNm/m	$x_m =$	2,50 m			$x_m =$	2,50

### Schnittkraft für Querkraft

$A_v =$	34,88 kN/m	$B_v =$	34,88 kN/m	Auflagerkräfte charakteristisch [kN/m]			
$Q_{11} =$	34,88 kN/m	$Q_{1r} =$	34,88 kN/m	Anteil $g =$	70%	Anteil $q =$	30%
$Q_{21} =$	34,88 kN/m	$Q_{2r} =$	34,88 kN/m	$A_{v,q} =$	17,50	$A_{v,s} =$	7,50
$V_{sd} =$	30,79 kN/m			$B_{v,q} =$	17,50	$B_{v,s} =$	7,50

### Biegebemessung

	$C =$	13,33 N/mm		
Betondruckzonenhöhe	$x =$	2,05 cm	0,307	
innerer Hebelarm	$z =$	15,98 cm		
Kontrolle Stahldehnung	$\epsilon_{s1} =$	0,02524	$\geq$	0,00348 OK, Stahl kommt ins Fließen

Erforderliche Bewehrung	$a_{s,erf} =$	5,70 cm <sup>2</sup> /m	5,70	0,00
Mindestbewehrung	$a_{s,min} =$	2,18 cm <sup>2</sup> /m		0,000570

Bemessung Querkraft			
$k =$	2,00	$\rho_1 =$	0,0034
$V_{Rd,c} =$	83,16 kN/m	$V_{Sd} =$	30,79 kN/m
$v =$	0,54		OK
$V_{Rd,max} =$	756 kN/m	$V_{Sd} =$	34,88 kN/m
			OK

### Begrenzung der Durchbiegung

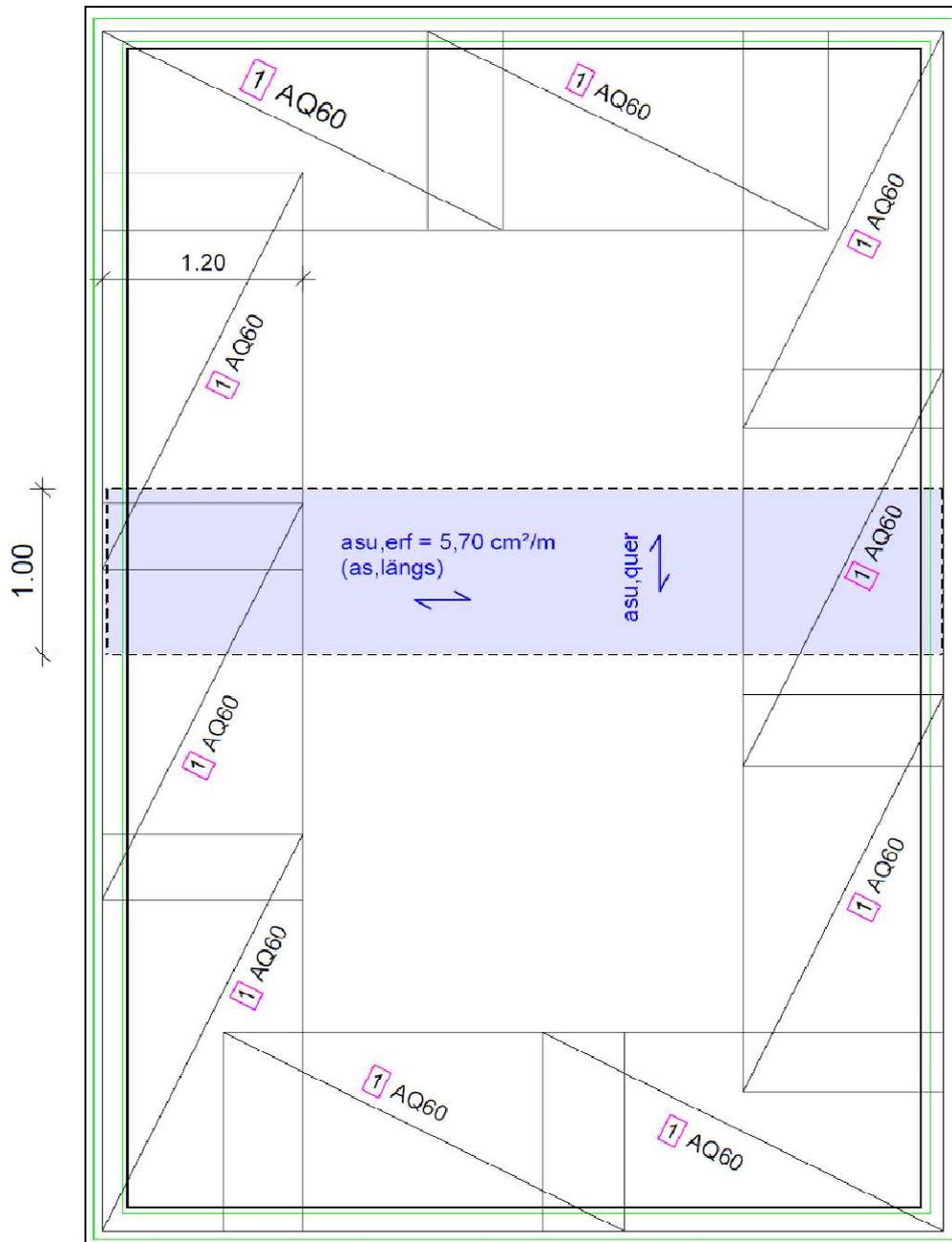
$\delta_{zul} = L/$	250	$=$	2,000 cm	
Rissmoment	$M_{cr} =$	17,89 kNm/m		
Einwirkung	Kategorie A: Wohngebäude	$\psi_1 =$	0,5	
Durchbiegung $t=0$	$\delta_2 =$	2,205 cm	$\delta_{cr} + sh,m =$	0,01181
Durchbiegung $t=\infty$	$\delta_{\infty} =$	3,074 cm		
Überhöhung	$\delta_u = L/$	300	-1,667 cm	
Total	$\delta_{tot} =$	1,41	$\leq$	2,00 cm
				OK

Durchbiegungsbewehrung	$a_{s,erf} =$	0,00 cm <sup>2</sup> /m
------------------------	---------------	-------------------------

Gewählt:				
Hauptbewehrung	$a_{s,erf} =$	5,70 cm <sup>2</sup> /m	$\emptyset \dots / e =$	..... cm
Verteilerbewehrung	$a_{v,erf} =$	1,14 cm <sup>2</sup> /m	$\emptyset \dots / e =$	..... cm
Höchstbewehrung	$a_{s,max} =$	80 cm <sup>2</sup> /m		
Mindestbewehrung	$a_{s,min} =$	2,18 cm <sup>2</sup> /m		

## Anhang K

### Bewehrungsplan



Untere Bewehrung: asu, erf und asu, quer

Obere Bewehrung: Abrissbewehrung AQ60,  $b=1,20\text{m}$

Rostbewehrung: 4d8, jeweils 2d8 oben und unten

## Anhang L

### Werkszeichnung Elementdecke

Grundriss der Decke

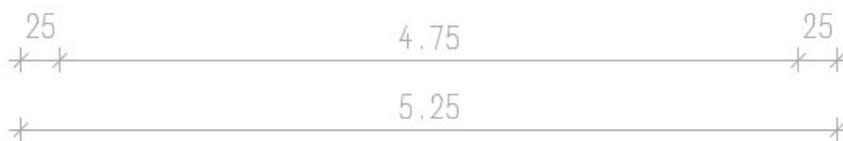
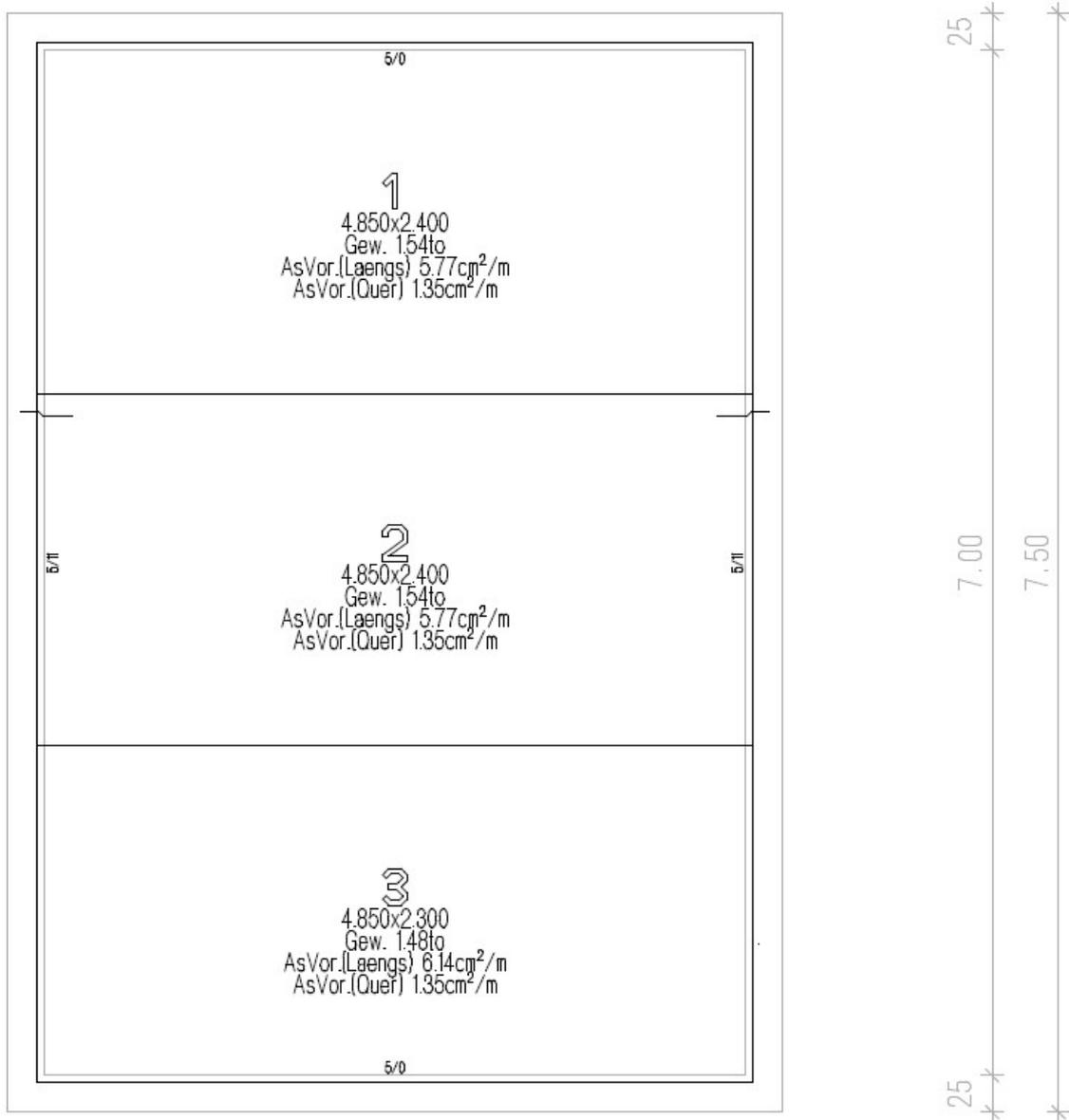
Plan nicht maßstäblich

Diese Elementdeckenplanung

erfolgte durch den Autor bei einem

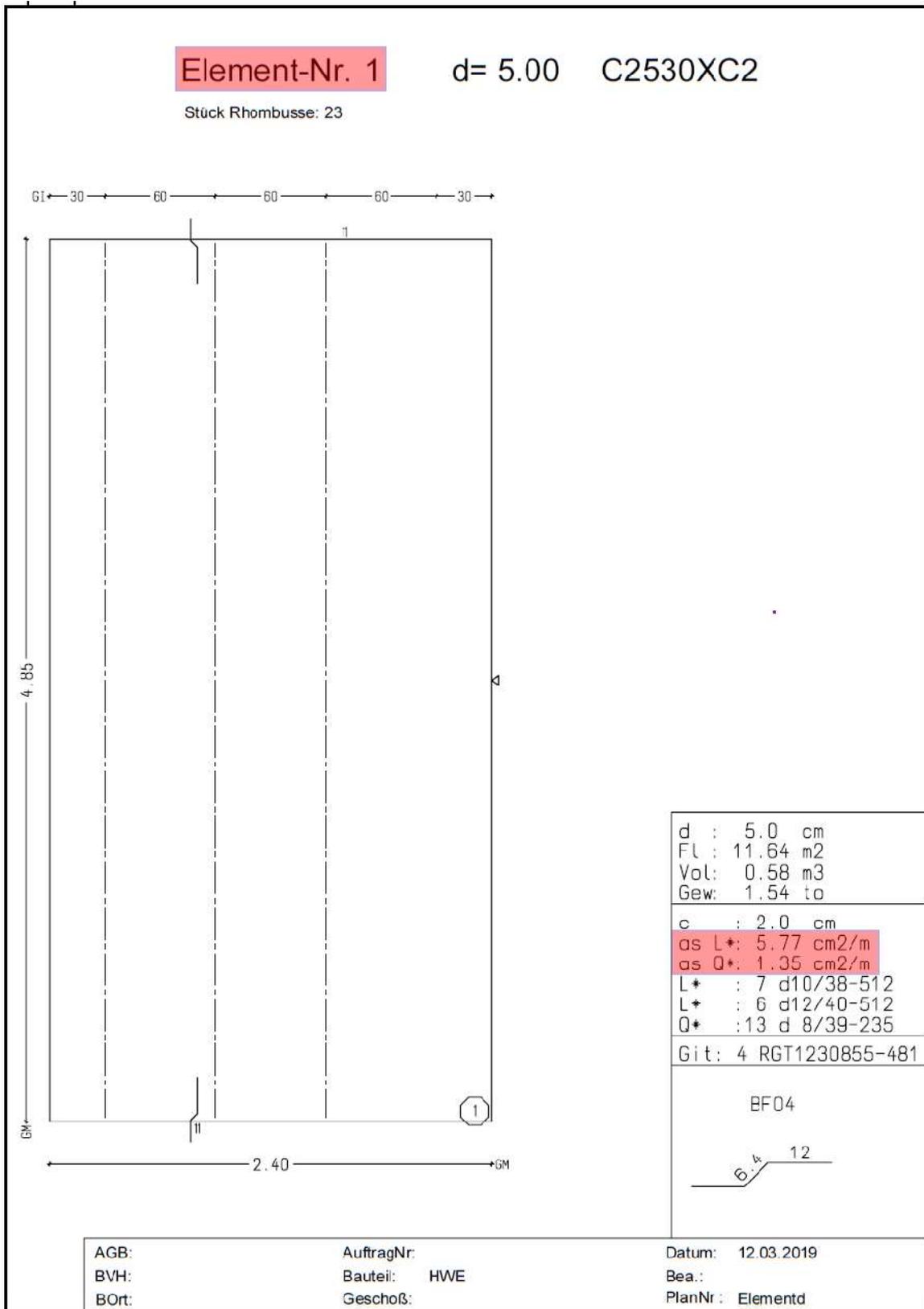
FT-Hersteller unter Einsatz spezieller

Software.



**Produktionsdatenblatt Elementdecke**

Produktionsdatenblatt der Plattenposition Nr. 1



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Ortbetonbauweise.....	6
Abb. 2.1: Ablauf Planung bis Einbau.....	12
Abb. 2.2: Auslegertypen von Turmdrehkrane und Bezeichnungen eines Kranes .....	14
Abb. 2.3: Ermittlung der Grundspielzeit von Kranen.....	16
Abb. 2.4: Lieferzustand Elementdecke.....	18
Abb. 2.5: Elementdecke im Längs- und Querschnitt .....	19
Abb. 2.6: Stoßbewehrung bei Plattenstößen und Auflagersituation bei Elementdecke.....	19
Abb. 2.7: Gitterträger .....	20
Abb. 2.8: Zyklus einer Elementdeckenproduktion .....	21
Abb. 2.9: Reibrad und Rollenbock.....	22
Abb. 2.10: Querhubwagen .....	22
Abb. 2.11: Reinigungsgerät für Schalungen.....	22
Abb. 2.12: Schalungsroboter im Einsatz .....	23
Abb. 2.13: Styroporkörper als Schalung.....	23
Abb. 2.14: Abstandhalter platzieren .....	23
Abb. 2.15: Schalung mit Trennmittel versehen.....	23
Abb. 2.16: Coils .....	25
Abb. 2.17: Richtanlage.....	25
Abb. 2.18: Mattenschweißanlage.....	25
Abb. 2.19:Gitterträgerverarbeitung.....	25
Abb. 2.20: Gitterträgerverarbeitung.....	26
Abb. 2.21: Gitterträger, Längs,- Quereisen .....	26
Abb. 2.22: Durchstanzbewehrung .....	27
Abb. 2.23: Elektrodose.....	27
Abb. 2.24: Isokorb &Abschaler.....	27
Abb. 2.25: Betontransportsystem .....	27
Abb. 2.26: Betonage mittels Betonverteiler .....	27
Abb. 2.27: Rüttelstation für Verdichtung.....	28
Abb. 2.28: verdichteter Zustand .....	28
Abb. 2.29: Härtekammer mit Regalbediengerät .....	29
Abb. 2.30: Abheben .....	30
Abb. 2.31: Stapeln .....	30
Abb. 2.32: Lagerung im Werk .....	30
Abb. 2.33: Traglastkurven eines Turmdrehkranes.....	31
Abb. 2.34: Einsatz von Turmdrehkranen in Kombination mit Mobilkranen.....	34

Abb. 2.35: Verlegung einer Elementdecke mittels Fahrzeugkran .....	34
Abb. 2.36: Lieferzustand Hohlwand .....	36
Abb. 2.37: Fugenkörbe .....	37
Abb. 2.38: Knoten Fundament / Hohlwand / Elementdecke .....	38
Abb. 2.39: kerngedämmte Hohlwand .....	39
Abb. 2.40: Zyklus einer Hohlwandproduktion .....	40
Abb. 2.41: Wendeeinrichtung für Hohlwände .....	40
Abb. 2.42: Kap-Stahl-Welle.....	41
Abb. 2.43: Einbau Kap-Stahl-Welle.....	41
Abb. 3.1: EDV-unterstützte Schalungsplanung .....	44
Abb. 3.2: Arbeitsverzeichnis.....	45
Abb. 3.3: Auszug aus einem Bauablaufplan.....	46
Abb. 3.4: Übersicht von Schalungssystemen .....	47
Abb. 3.5: Einbauzustand eines Ankers .....	49
Abb. 3.6: Ankersystem.....	49
Abb. 3.7: Maximo Rahmenschalung [Peri] .....	50
Abb. 3.8: Trägerschalung für Wände .....	51
Abb. 3.9: Deckenschaltisch und Umsetzgabel [Peri] .....	52
Abb. 3.10: Topec Deckenschalung [Hünnebeck].....	53
Abb. 3.11: Skydeck Deckenschalung [Peri].....	53
Abb. 3.12: Betoneinbau mittels am Fahrnischer integrierten Förderband .....	55
Abb. 3.13: Betoneinbau mit Kran und Kübel .....	55
Abb. 3.14: Betoneinbau mithilfe einer Autobetonpumpe.....	56
Abb. 3.15: Schalungsrüttler.....	58
Abb. 3.16: Oberflächenrüttler .....	58
Abb. 4.1: Werkszeichnung einer Elementdecke .....	61
Abb. 4.2: Werkszeichnung einer Hohlwand.....	63
Abb. 4.3: Lagerung Elementdecke auf der Baustelle.....	65
Abb. 4.4: Lagerung Hohlwand auf der Baustelle .....	65
Abb. 4.5: Arbeitsprozesse von STB-Arbeiten .....	66
Abb. 4.6: Abhebeknoten, Gehänge und Abhebepunkt .....	68
Abb. 4.7: Versetzen einer Elementdecke .....	68
<b>Abb. 4.8: Einschalen Ortbetondecke (1)</b> .....	<b>70</b>
<b>Abb. 4.9: Einschalen Ortbetondecke (2)</b> .....	<b>70</b>
<b>Abb. 4.10: Einschalen Ortbetondecke (3)</b> .....	<b>70</b>
<b>Abb. 4.11: Einschalen Ortbetondecke (4)</b> .....	<b>70</b>

<b>Abb. 4.12: Ausschalvorgang (1)</b> .....	71
<b>Abb. 4.13: Ausschalvorgang (2)</b> .....	71
<b>Abb. 4.14: Ausschalvorgang (3)</b> .....	71
<b>Abb. 4.15: Ausschalvorgang (4)</b> .....	71
<b>Abb. 4.16: Ausschalvorgang (5)</b> .....	71
<b>Abb. 4.17: Ausschalvorgang (6)</b> .....	71
Abb. 5.1: Kalkulation von Stahlbetonarbeiten.....	81
Abb. 5.2: Kostenverteilung von Stahlbetonarbeiten.....	82
Abb. 5.3: Herkunftsquellen der Aufwandswerte.....	83
Abb. 5.4: Einflüsse auf den Aufwandswert für Schalarbeiten .....	84
Abb. 5.5: Kostenbestandteile der Schalung .....	93
Abb. 5.6: Vorhaltekosten je Monat .....	95
Abb. 5.7: Durchmesserverteilung nach Bauwerkstypen .....	96
Abb. 5.8: Kostenbestandteile der Bewehrung .....	97
Abb. 5.9: Schneid- und Biegeaufwand der Bewehrung .....	98
Abb. 5.10: Verlegeaufwand der Bewehrung.....	99
Abb. 5.11: Preiszusammensetzung der Bewehrung.....	99
Abb. 5.12: Vergleich Preisentwicklung Stabstahl zu diversen Indizes .....	100
Abb. 5.13: Kostenbestandteile von Beton .....	101
Abb. 5.14: Preiszusammensetzung von Elementdecken.....	103
Abb. 5.15: Preiszusammensetzung von Hohlwänden .....	104
Abb. 5.16: Vorlage für Preisabfragen von Beton, Stahl und Hohlwand.....	107
Abb. 5.17: Schalungsplanung .....	109
Abb. 5.18: Kostenverteilung der Ortbetonwand bei Bewehrungsverlegung durch Subunternehmer .....	114
Abb. 5.19: Kostenverteilung der Ortbetonwand bei Bewehrungsverlegung durch Eigenpersonal.....	115
Abb. 5.20: Kostenverteilung der Hohlwand .....	122
Abb. 5.21: grafische Darstellung der Gesamtkostenverläufe und Lage BEP .....	128
Abb. 5.22: Vorlage für Preisabfrage der Elementdecke.....	131
Abb. 5.23: Musterbeispiel Stahlbetondecke .....	133
Abb. 6.1: grafische Darstellung der Gesamtkostenverläufe.....	145

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zeitbedarf für Kranbewegungen (Anhaltswerte).....	16
Tab. 2: Richtwerte für Anzahl der Arbeitskräfte je Kran.....	31
Tab. 3: Richtwerte für Leistungsermittlung von Kranen im Hochbau.....	32
Tab. 4: Richtwerte für Leistungsermittlung von Kranen im Fertigteilbau.....	32
Tab. 5: Elementgewicht von Elementdeckenplatten mit 5 cm Plattenstärke.....	33
Tab. 6: Elementgewicht von Hohlwandplatten.....	33
Tab. 7: Fassungsvermögen, Gesamtgewicht, Leergewicht der Betonkübel.....	35
Tab. 8: Schalungsgewichte.....	35
Tab. 9: beispielhafter Bauablauf bei einer Elementdecke.....	67
Tab. 10: beispielhafter Bauablauf bei einer Ortbetondecke.....	70
Tab. 11: beispielhafter Bauablauf beim Einsatz einer Hohlwand.....	73
Tab. 12: beispielhafter Bauablauf bei einer Ortbetonwand.....	75
Tab. 13: Gegenüberstellung von Fertigteil- und Ortbetonbauweise.....	78
Tab. 14: Grundformel der Gesamtpreisbildung.....	79
Tab. 15: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten - DECKE.....	85
Tab. 16: Aufwandswerte für Deckenschalung.....	86
Tab. 17: Aufwandswerte für Bewehrungs- und Betonierarbeiten - Decke.....	86
Tab. 18: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten – WAND.....	87
Tab. 19: Aufwandswerte für Wandschalung.....	88
Tab. 20: Aufwandswerte für Bewehrungs- und Betonierarbeiten - Wand.....	88
Tab. 21: Aufwandswerte für Herstellung von Wänden und Decken.....	89
Tab. 22: Kranaufwandswerte typischer Arbeitsvorgänge.....	90
Tab. 23: Ermittlung des Neuwerts der Rahmenschalung.....	109
Tab. 24: Zusammenfassung der Einzelkosten (Ortbetonwand).....	114
Tab. 25: Übersichtliche Darstellung des K7-Blatts (Ortbetonwand).....	115
Tab. 26: Kosten der Aussparungen in HW.....	116
Tab. 27: Gesamtgewicht der Fugenbewehrung.....	119
Tab. 28: Vergleich der Aufwandswerte.....	120
Tab. 29: Ermittlung Lohnanteil Versetzarbeiten bei Hohlwänden.....	120
Tab. 30: Zusammenfassung der Einzelkosten (Hohlwand).....	121
Tab. 31: Übersichtliche Darstellung des K7-Blatts (Hohlwand).....	122
Tab. 32: gewählte AW für den Verfahrensvergleich.....	123
Tab. 33: Gesamtkostenverlauf Ortbetonwand.....	125
Tab. 34: Gesamtkostenverlauf Hohlwand.....	127
Tab. 35: Kostendifferenz der Verfahrensvarianten.....	130
	180

Tab. 36: Einzelkosten der Ortbeton- und Elementdecke in Abhängigkeit der Deckenstärke und Stützweite .....	131
Tab. 37: Neuwert der Deckenschalung .....	134
Tab. 38: Materialkosten der Bewehrung (Ortbetondecke) .....	136
Tab. 39: Lohnkosten der Bewehrung (Ortbetondecke).....	137
Tab. 40: Zusammenfassung der Einzelkosten (Ortbetondecke).....	138
Tab. 41: Materialkosten der Bewehrung (Elementdecke).....	140
Tab. 42: Lohnkosten der Bewehrung (Elementdecke).....	141
Tab. 43: Zusammenfassung der Einzelkosten (Elementdecke).....	142
Tab. 44: Einzelkosten der Ortbeton- und Elementdecke in Abhängigkeit der Deckenstärke und Stützweite .....	143

## Abkürzungsverzeichnis

AUVA	Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
VÖB	Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
BST 550	Betonstahl mit einer Streckgrenze von mind. 550 N/mm <sup>2</sup>
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
FT-Platten	Fertigteil-Platten
FT-Elemente	Fertigteil-Elemente
FT-Hersteller	Fertigteil-Hersteller
HKLS	Heizung - Klima - Lüftung – Sanitär
FT-Werk	Fertigteil-Werk
LH	Low Heat
VLH	Very Low Heat
RDS	Rohrdurchführungssystem
2D	2-Dimensional
3D	3-Dimensional