

# Hochschule Osnabrück

University of Applied Sciences

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Studiengang Baubetriebswirtschaft

## Bachelorarbeit

Thema: Vergleich verschiedener Ausführungsarten von wasserundurchlässigen Betonbauwerken

Erstprüferin: Frau Prof. Dr. Uta Stewering

Zweitprüfer: Herr Dipl.- Ing. Arndt Kuipers

Bearbeiter: Berthold Bosmann

Matrikelnummer.: 426140

Ausgabedatum: 21.06.2013

Abgabedatum: 13.09.2013

## Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung und Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	1
1.3 Aufbau der Arbeit	2
<b>2 Beton- und Ausführungstechnik</b>	<b>3</b>
2.1 Betontechnik	3
2.2 Entwurfsgrundsätze	4
2.2.1 Rissbreiten begrenzende Bewehrung	4
2.2.2 Trennrissvermeidung	5
2.2.3 Nachträgliche Abdichtung aller Risse	6
2.3 Nutzungsklassen nach WU-Richtlinie	6
2.4 Beanspruchungsklassen nach WU-Richtlinie	7
<b>3 Ausführungsweisen der Kellerwandkonstruktion</b>	<b>8</b>
3.1 Ausführungsweise als Ortbetonwand	8
3.1.1 Beschreibung der Wand in Ortbetonbauweise	8
3.1.2 Planung zur Ortbetonwand	8
3.1.3 Ausführung einer Ortbetonwand	9
3.2 Dreifachwandelement als Ausführungsweise	11
3.2.1 Beschreibung einer Dreifachelementwand	11
3.2.2 Planung zur Wand	11
3.2.3 Ausführungsweise als Dreifachelementwand	12
<b>4 Grundlagen zum Vergleichskonzept</b>	<b>15</b>
4.1 Allgemeine Einflussfaktoren	17
4.2 Faktoren der Ausführungsweise	17
4.3 Kostenparameter	18
4.4 Ergebnis einer Ausführungsweise	18
<b>5 Allgemein gültige Faktoren</b>	<b>19</b>
<b>6 Faktoren der Ausführungsweisen</b>	<b>20</b>
6.1 Ortbetonbauweise	20
6.1.1 Ausführungsabhängige Parameter	20
6.1.2 Materialaufwand für die Ortbetonwand	21
6.1.3 Arbeitszeitaufwand für eine Ortbetonwand	22
6.1.4 Mietaufwand:	23
6.2 Dreifachwand	24
6.2.1 Ausführungsabhängige Parameter	24

---

6.2.2	Materialaufwand für die Dreifachwand	25
6.2.3	Arbeitszeitaufwand bei Dreifachelementwänden	27
6.2.4	Mietaufwand bei Dreifachelementwänden:	29
<b>7</b>	<b>Kostenparameter</b>	<b>30</b>
7.1	Festlegung des Materials und der Materialkosten	30
7.2	Ermittlung der Lohnkosten	33
7.3	Ermittlung der Mietkosten	34
<b>8</b>	<b>Beispielbezogener Vergleich</b>	<b>36</b>
8.1	Vergleichsdurchführung an einem Bauobjekt	36
8.1.1	Vorstellung des Beispielgebäudes	36
8.1.2	Entwicklung der geometrischen Angaben als Parameter	38
8.2	Bauausführung als Ortbetonwand	39
8.2.1	Materialkostenberechnung der Ortbetonbauweise	41
8.2.2	Lohnkostenberechnung der Ortbetonbauweise	42
8.2.3	Mietkostenberechnung der Ortbetonbauweise	43
8.3	Bauausführung als Dreifachelementwand	44
8.3.1	Materialkostenberechnung der Ausführung als Dreifachelementwand	46
8.3.2	Lohnkostenberechnung der Ausführung als Dreifachelementwand	48
8.3.3	Mietkostenberechnung der Ausführung als Dreifachelementwand	50
8.4	Kosten der Ausführungen	51
8.4.1	Kostenzusammensetzung Ortbetonbauweise	51
8.4.2	Kostenzusammensetzung Dreifachelementbauweise	52
8.5	Bauzeit der Ausführungen	52
8.5.1	Bauzeit der Ortbetonwand	53
8.5.2	Bauzeit der Dreifachelementwand	54
8.6	Erkenntnisse am Beispielprojekt	55
<b>9</b>	<b>Allgemeine Ergebnisauswertung</b>	<b>56</b>
9.1	Kostenzusammensetzung	56
9.2	Bauzeit	56
9.3	Reflektion der Erkenntnisse	56
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Summary</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>60</b>
<b>13</b>	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>61</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abb. 1	Verhältnis von W/Z- Wert und Wasserdurchlässigkeit Quelle: Zementaschenbuch, Verein Deutscher Zementwerke e.V. Bau- verlag Wiesbaden 2002	3
Abb. 2	Zwangsminimierung durch Wandabschnitte Quelle: Risse in Stahl- und Spannbetonbauten, Theorie und Praxis, H. Falkner, Referat zum Studiengang "Verhalten von Bauwerken - Quali- tätskriterien"	5
Abb. 3	Skizze eines Bewehrungsquerschnitt in einer Ortbetonwand	9
Abb. 4	Schalungskörper einer Ortbetonwand Quelle: wir-bauen.webnode.at	10
Abb. 5	Schichtweise eingebrachter Beton Quelle: sautter.com	10
Abb. 6	Querschnitt eines Wandelementes	13
Abb. 7	Dreifachelementwand	14
Abb. 8	Schaubild des Vergleichskonzeptes	16
Abb. 9	Ausführungsskizze des Beispielkellers	37
Abb. 10	Skizze Bewehrungseckzuschlag	40
Abb. 11	Dreifachelementplan	45
Abb. 12	Kostenanteile Ortbetonbauweise	51
Abb. 13	Kostenanteile Dreifachelementbauweise	52
Abb. 14	Balkendiagramm Ortbetonwand	54
Abb. 15	Balkendiagramm Dreifachelementwand	55

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tab. 1	Parameter eines Bauvorhaben	19
Tab. 2	Ausführungsabhängige Parameter einer Ortbetonwand	20
Tab. 3	Materialaufwand einer Ortbetonwand	21
Tab. 4	Zeitaufwand einer Ortbetonwand	22
Tab. 5	Mietaufwand einer Ortbetonwand	23
Tab. 6	Ausführungsabhängige Parameter einer Dreifachwand	24
Tab. 7	Materialaufwand einer Dreifachelementwand	25
Tab. 8	Zeitaufwand einer Dreifachelementwand	27
Tab. 9	Mietaufwand einer Dreifachelementwand	29
Tab. 10	Materialpreisliste	30
Tab. 11	Lohnpreisliste	32
Tab. 12.1	Mietpreisliste	33
Tab. 12.2	Mietkosten Betonpumpe	34
Tab. 13	Parameter des Beispielbauvorhaben	38
Tab. 14	Parameter der Ortbetonwand für das Beispielgebäude	39
Tab. 15	Materialkosten der Ortbetonwand	41
Tab. 16	Lohnkosten der Ortbetonwand	42
Tab. 17	Mietkosten der Ortbetonwand	43
Tab. 18	Parameter der Dreifachelementwand für das Beispielgebäude	44
Tab. 19	Materialkosten der Dreifachelementwand	46
Tab. 20	Lohnkosten der Dreifachelementwand	48
Tab. 21	Mietkosten der Dreifachelementwand	50
Tab. 22	Auswertung der Gesamtkosten	51
Tab. 23	Zeitauswertung der Ortbetonwand	53
Tab. 24	Zeitauswertung der Dreifachelementwand	55

# **1 EINFÜHRUNG**

## **1.1 Einführung und Motivation**

Die Abdichtung eines Kellerraums zur Wasserundurchlässigkeit gewinnt immer mehr an Bedeutung, da die Nutzungsansprüche zunehmend größer werden. Früher wurde kein besonderer Wert auf die klimatische Ausrichtung in unterirdischen Räumen gelegt. Heutzutage werden die Ansprüche erhöht, sei es aus Gründen der Wohnbarkeit oder zum Zweck der archivierbaren Lagerung von teuren Gegenständen.

Kellerwände aus Beton abzudichten, kann auf verschiedene Weise erfolgen. Man spricht von Schwarzen Wannen, Braunen Wannen und Weißen Wannen. Die Bezeichnungen leiten sich aus der Farbe ihrer Erscheinungsbilder ab. Die Schwarze und Braune Wanne sind jeweils Wandkonstruktionen, die ihre Wasserundurchlässigkeit aufgrund einer hautartigen Beschichtung an der zur wassergerichteten Seite erbringen. Die Schwarze Wanne wird durch eine bituminöse Schicht abgedichtet und die Braune Wanne durch eine Schicht aus Bentonit. Die Weiße Wanne hat normalerweise keine nachträglich abdichtenden Stoffe auf Ihrer Betonoberfläche. Sie wird im Vorfeld so geplant und später hergestellt, dass ihre Konstruktion selbsttätig wasserundurchlässig bleibt.

Die Herstellung von Weißen Wannen ist der Bauweise von konventionellen Betonwänden ähnlich. Sie müssen zusätzlich planerisch, betontechnisch und ausführungstechnisch so erbracht werden, dass später keine Fehlstellen entstehen, die zum Wasserdurchtritt führen. Zur Ausführung einer wasserundurchlässigen Wandkonstruktion stehen sich unterschiedliche Varianten gegenüber. Die Ortbetonbauweise, bei der die Betonwände durch Schalung und Ortbeton hergestellt werden und eine Ausführung mit Halbfertigteilen in Elementbauweise, auch Dreifachelementwand genannt.

Die Entscheidung, welche der beiden Ausführungsweisen für ein geplantes Bauobjekt die Richtige ist hängt von verschiedenen Grundlagen ab.

## **1.2 Zielsetzung der Arbeit**

In dieser Abschlussarbeit soll ein wirtschaftlicher Vergleich auf technischer Basis zwischen Ortbetonwänden und Dreifachelementwänden erbracht werden. Jede Ausführung muss jeweils geeignet sein, eine Wasserundurchlässigkeit nachzuweisen. Aufgrund von Kostenermittlung, Ausführungszeitrahmen und technischer Ausführbarkeit werden die Ausführungsweisen letztlich unterschieden.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Bevor die beiden Ausführungsweisen vorgestellt werden, wird im Vorfeld der Grundsatz zur Herstellung Weißer Wannen in Bezug auf Betontechnologie, Ausführung und Regelwerken eingebracht.

Nach der Vorstellung der Planung, beziehungsweise der Ausführung beider Kellerwandarten, wird ein Konzept zur Vergleichsausführung ausgearbeitet, nach dem beide Weisen möglichst einheitlich verglichen werden können. Nach diesem Konzept werden die Ausführungsarten jeweils aufgearbeitet und nach einer grundsätzlichen Ausführung in Aufwandsgruppen aufgeteilt. Nachdem der allgemeingültige Teil des Vergleiches abgeschlossen ist, wird ein Beispielgebäude herangezogen, das mit Hilfe der allgemeinen Aufarbeitung und des Vergleichskonzeptes zu einem auf Zahlen basierenden Ergebnis führen soll.

Mit dem Ergebnis soll die passende Ausführungsweise zur Herstellung eines wasserundurchlässigen Betonbaukörpers aus Beton, bezogen auf ein Beispiel getroffen werden.



## 2 BETON- UND AUSFÜHRUNGSTECHNIK

### 2.1 Betontechnik

Die Aufgabe des Betons im Hochbau, wenn er nicht von drückendem Grundwasser beansprucht wird, ist es, statische Tragfähigkeit des Bauwerks zu gewährleisten. Diesen Zweck muss er auch im Keller eines Gebäudes erfüllen. Wenn die Nutzbarkeitsansprüche auf dem Prinzip einer Weißen Wanne zu erfolgen haben, ist eine wichtige Nebenaufgabe des Betons, die Wasserundurchlässigkeit zu gewährleisten. Nicht jeder Beton ist zum Herstellen einer Weißen Wanne geeignet. Er muss wasserundurchlässig und rissunanfällig sein. Um diese Eigenschaften zu erreichen, sind mehrere Einzelheiten von Bedeutung. Der Wasser/Zement-Wert (W/Z-Wert) sollte nach *Lohmeyer/Ebelings Weiße Wanne einfach und sicher* zwischen 0,4 und 0,6 liegen. Ein zu geringer W/Z- Wert ist Ursache dafür, dass der Beton seinen Hydratationsgrad nicht erreicht. Der Zement kann seine Festigkeitsentwicklung in chemischer Verbindung mit Wasser nicht vollenden. Das hat zur Folge, dass die Wasserdurchlässigkeit steigt. Ist der W/Z-Wert im Beton zu hoch, verdunstet das überschüssige Wasser, das der Zement nicht gebunden hat. Durch die Verdunstung des Überschusswassers entstehen Kapillarporen, die ebenfalls ein Grund dafür sein können, dass die Wasserdurchlässigkeit steigt.

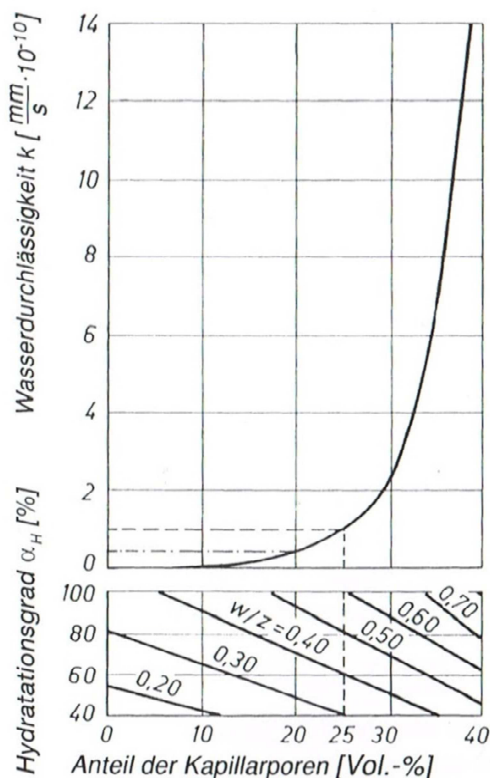


Abbildung 1: Verhältnis von W/Z- Wert und Wasserdurchlässigkeit  
 (Bildquelle: Zement- Taschenbuch. Herausgegeben vom Verein Deutscher Zementwerke e.V. Bauverlag Wiesbaden 2002)

Falsche Konsistenz des Betons kann beim Einbringen in die Wandschalung zu Undichtigkeiten führen. Um eine einfache Verdichtung während der Ausführung zu ermöglichen, sollte der Frischbeton die Konsistenzklasse F3 haben und somit weich beschaffen sein.

Wasserführenden Rissen im Wandquerschnitt entstehen durch Zwangsspannung im Beton. Ausschlaggebend für Zwangsrisse kann zum einen der Beton sein der eine zu hohe Temperaturdifferenz bei der Festigkeitsentwicklung durchläuft. Dieser Prozess wird Hydratationswärmeverlust genannt. Es ist ein Zement zu verwenden, der die Festigkeitsentwicklung langsam einleitet und so die Hitze langsamer abgibt. Dies führt zu einer geringeren Wärmeentwicklung im Baukörper. Zwang, der zu einem späteren Zeitpunkt nach der Festigkeitsentwicklung entsteht kann ebenfalls zu Rissen führen. Eine spät auftretende Zwangsbeanspruchung kann aus einem Temperaturwechsel durch zum Beispiel Tag- und Nachtwechsel ausgelöst werden. Eine Setzung infolge von zu großer Belastung und zu nachgiebigem Baugrund kann ebenfalls Grund für eine durch Zwangsspannung verursachte Rissbildung sein.

## **2.2 Entwurfsgrundsätze**

Nach *WU- Richtlinie des deutschen Ausschusses für Stahlbeton* gibt es drei Grundsätze nach denen man eine wasserundurchlässige Konstruktion planen und herstellen kann.

### **2.2.1 Rissbreiten begrenzende Bewehrung**

Der geläufigste Begriff als Entwurfsgrundsatz für Weiße Wannen ist die rissbreitenbeschränkende Bewehrung. Bei diesem Entwurf wird mit Entstehung von Trennrissen über den gesamten Wandquerschnitt gerechnet. Die Trennrisse sind durch gezielt verlegte Bewehrung so klein, dass sie nicht wasserführend sind. Der Durchmesser der horizontal verlaufenden Bewehrung muss so gewählt werden, dass sie durch die entstehende Zwangsspannungen mit nur geringer Stahldehnung reagieren. Die zulässige Rissbreite nach WU-Richtlinie an der Außenseite der Wand entspricht maximal 0,2 mm. Es ist möglich, dass kurzzeitig Wasser durch geringfügig größere Risse an die Innenseite der Wand tritt. Nach *Lohmeyer/ Ebeling* sind Durchtrittsstellen im Normalfall innerhalb von einigen Wochen wieder verschwunden, da der Beton die Fähigkeit hat sich durch Zusammenwirkung von Grundwasser und Partikelchen aus Erdböden selbst zu heilen.

Die Wand kann in einem Durchgang geschlossen betoniert werden, so kann ein schneller Baustellenfortschritt erreicht werden. Durch die Bildung von kleinen Rissen ist es möglich, dass an der Innenwand feuchte Stellen entstehen können, die bei höherwertiger Nutzung nicht toleriert werden.

### 2.2.2 Trennrissvermeidung

Bei dem Grundsatz zur Trennrissvermeidung ist die Entstehung von unwillkürlichen Trennrissen unzulässig. Der gesamte Kellergrundriss muss in einzelne Abschnitte aufgeteilt werden, sodass jeder einzelne Wandabschnitt für sich rissfrei durch Zwangsminimierung bleibt. Durch das Verhältnis von Breite und Höhe der Abschnitte kann die Zwangsbeanspruchung verringert werden. In Abbildung 2 ist zu sehen, wie sich je nach Seitenverhältnis die Zwangsbeanspruchungen verändern.

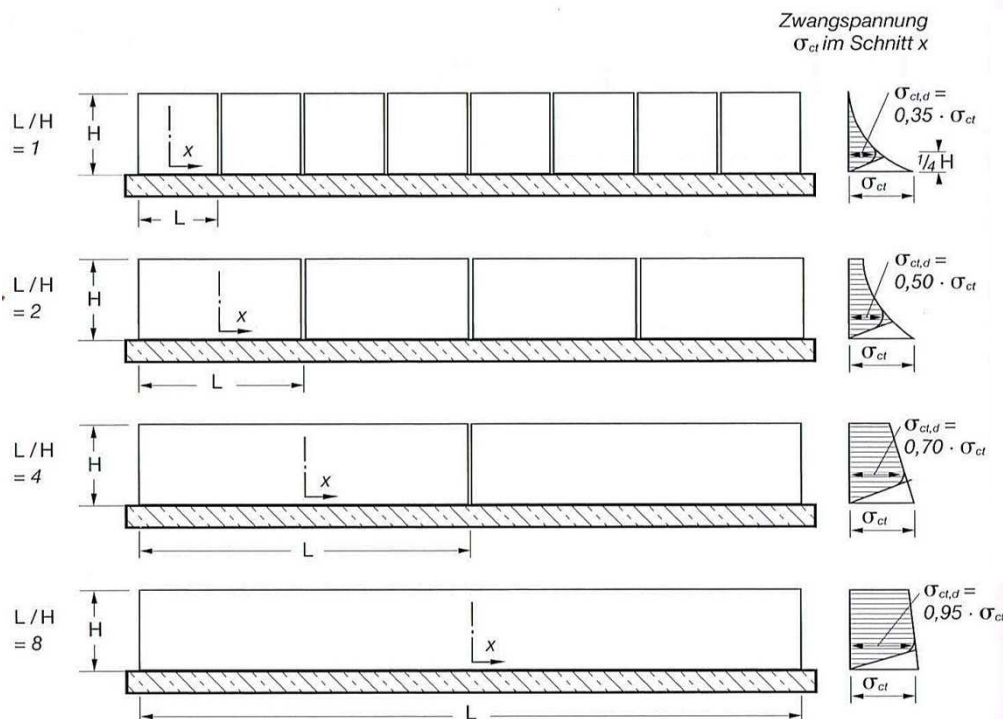


Abbildung 2: Zwangsminimierung durch Wandabschnitte

(Bildquelle: H. Falkner. Risse in Stahl- und Spannbetonbauten – Theorie und Praxis. Referat zur Studientagung „verhalten von Bauwerken – Qualitätskriterien“)

Umso geringer das Verhältnis von Länge der Wand zur Höhe des Wandabschnittes, desto kleiner wird die einwirkende Zwangsspannung.

An den Stellen an denen zwei Wandabschnitte zusammen stoßen, muss eine Sollrissfuge ausgebildet werden. Es wird sichergestellt, dass die entstehende Zwangsspannung nur Risse an diesen vorher festgelegten Positionen entstehen lässt. In der Sollrissstelle muss der Betonquerschnitt um mindestens ein Drittel der Wandstärke verringert werden. Der Bewehrungsgehalt darf nur noch dem statisch erforderlichen Wert entsprechen, damit der Riss sich an der geplanten Stelle bilden kann. Die Sollrissstelle muss mit einem geeigneten Dichtungselement versehen werden, sodass der zu erwartende Riss wasserundurchlässig bleibt. Möglichkeiten zur vertikalen Abdichtung sind zum Beispiel Fugenbänder, beschichtete Fugenbleche oder Dichtrohre. Wichtig ist, dass die vertikal verlaufende Fu-

genabdichtung von Wand- zu Wandabschnitt mit der horizontalen Fugenabdichtung von Sohle zu Wand eine geschlossene Einheit gebildet werden kann.

Der Vorteil dieses Entwurfsgrundsatzes ist es, dass ein Wasserdurchtritt bei richtiger Planung und Bauausführung vermieden werden kann. Die Sollrissfugen können meist nur durch unterschiedliche Betonierabschnitte und durch Stirnschalung im Schalkörper realisiert werden. Das Betonieren von mehreren Wandabschnitten ist zeitlich Aufwendiger als ein durchgehender Betoniervorgang.

### **2.2.3 Nachträgliche Abdichtung aller Risse**

Der dritte Entwurfsgrundsatz ist in der Planung am einfachsten zu realisieren. Die Wand des Kellers wird als normale Stahlbetonwand ohne rissbreitenbegrenzende Bewehrung und ausgewiesene Abschnitte hergestellt. Die Entstehung von Trennrissen wird geduldet. Die Wand wird nachträglich mit Dichtungsmaßnahmen wie zum Beispiel Injektion in entstandene Risse abgedichtet. Bei Beaufschlagung mit Wasser, ist es möglich, dass dieser Vorgang wiederholt werden muss, da neue oder ungesehene Undichtigkeiten wasserführend werden können.

Der Kostenrahmen dieser Methode ist schwer einzuschätzen, obwohl in der Ausführung Bewehrung und Fugenband eingespart wird. Es kann in der Planung nicht vorhergesehen werden, wie die Rissbildung verläuft und somit nicht wie hoch der Kostenaufwand sein wird, diese abzudichten.

## **2.3 Nutzungsklassen nach WU-Richtlinie**

Der Nutzungsanspruch für wasserundurchlässige Betonbauwerke im Kellerbereich teilt sich nach *WU-Richtlinie* in zwei Klassen auf. Hohe Ansprüche zum Raumklima und Feuchtigkeitshaushalt wie bei Wohnungsraum oder Archiv nötig sind, werden bei Nutzungsklasse A gestellt. Bei dieser Nutzungsklasse darf keinerlei Wasserdurchtritt von außen nach innen gelangen. Feuchtstellen, die sich durch Dunkelfärbung des Betons kennzeichnen, sind nicht erlaubt. Bei Nutzungsklasse A muss in den meisten Fällen eine automatisierte Raumklimatisierung installiert werden, damit keine zu hohe Luftfeuchtigkeit entsteht. Bei der zweiten Klasse, der Nutzungsklasse B darf ebenfalls kein direkter Wasserdurchtritt entstehen. Feuchtstellen und Dunkelfärbung des Betons sind aber im geringen Maße zulässig. Anwendungsbeispiele für Nutzungsklasse B sind Abstell- bzw. Lagerräume mit feuchteunempfindlichen Gütern oder Parkhäuser.

Die Klassifizierung nach Feuchtedurchtritt bezieht sich jeweils auf den Nutzungszeitraum und muss mit dem Bauherren vertraglich vereinbart werden. Wenn eine Nutzungsänderung voraussehbar ist, muss die Klasse mit der höheren Priorität gewählt werden.

Bei der Wahl des Entwurfsgrundsatzes für Nutzungsklasse A ist darauf zu achten, dass zum Beispiel bei der Kellerwand mit Trennrissbegrenzung alle wasserführenden Risse in der Bauzeit vor Nutzungsbeginn abgedichtet werden.

## 2.4 Beanspruchungsklassen nach WU-Richtlinie

Weißer Wannen werden je nach Beanspruchung in zwei Kategorien eingeordnet. Zum einen die Beanspruchungsklasse 1 und zum anderen in die Beanspruchungsklasse 2. Bei den Klassen wird der Zustand des Wassers, welches von außen auf den Betonbaukörper einwirkt unterteilt. Für nicht drückendes Sickerwasser, das ohne Aufstau durch durchlässigen Boden vertikal an der Keller Wand vorbei zieht, kann die Beanspruchungsklasse 2 gewählt werden. Bei dieser Klasse muss der höchste anzunehmende Grundwasserspiegel deutlich unterhalb der Kellersohle liegen. Bei drückendem Grundwasser oder Sickerwasser, das sich an weniger durchlässigen Bodenschichten aufstaut, muss die Beanspruchungsklasse 1 gewählt werden. Die Wahl der Beanspruchungsklasse wird auf Grund einer Prüfung des Bodengutachters getroffen. Er hat festzustellen wie die Durchlässigkeit des Bodens ist und wie hoch der maximal eintreffende Grundwasserspiegel werden kann. Wenn nicht eindeutig geklärt wird, wie hoch der maximale Grundwasserstand erwartet werden kann, sollte nach *WU- Richtlinie* der Bemessungswasserstand an der Geländeoberkante angenommen werden. In dem Fall muss das Bauwerk im gesamten bodenberührten Bereich als wasserundurchlässige Betonkonstruktion ausgeführt werden.

### **3 AUSFÜHRUNGSWEISEN DER KELLERWANDKONSTRUKTION**

Im Verlauf der Abschlussarbeit werden im folgenden Kapitel zwei Ausführungsarten zur Herstellung wasserundurchlässiger Betonbauteile vorgestellt und dessen Ausführung erläutert. Im Vergleich stehen die Ortbetonbauweise und die Bauweise als Dreifachelementwand

#### **3.1 Ausführungsweise als Ortbetonwand**

##### **3.1.1 Beschreibung der Wand in Ortbetonbauweise**

Eine Wand in Ortbetonbauweise herzustellen, ist die konventionellste Ausführungsart einer Stahlbetonwand. Die Wand wird komplett auf der Baustelle hergestellt. Der frische einbaufähige Beton wird in einer errichteten Schalung eingebracht und härtet dann in der geplanten Wandform aus. Durch die individuelle Schalungsmöglichkeit sind alle Formen und Größen möglich. Da die Fertigung vor Ort erfolgt, muss auf keine Lieferwege und Transportschwierigkeiten geachtet werden. Alle Komponenten wie Beton und Bewehrung werden erst auf der Baustelle zusammen gebracht. Aus dem Grund ist der Zeitanteil, der auf der Baustelle zur Herstellung der Wand benötigt wird verhältnismäßig groß. Dadurch wird das Verfahren wetterabhängiger als zum Beispiel ein vergleichbares Bauprojekt in andere Ausführung.

##### **3.1.2 Planung zur Ortbetonwand**

Für eine Ortbetonwand wird üblicherweise der Entwurfsgrundsatz zur Trennrissbegrenzung gewählt. Da die Möglichkeit besteht, dass eine Ortbetonwand ohne vertikale Arbeitsfugen auskommt, müssen keine Sollrissfugen hergestellt werden. Je nach Verhältnis von Wandlänge zu Wandhöhe muss der Bewehrungsgehalt auf der gesamten Wandhöhe oder auf Teilhöhe so groß sein, dass die Zwangsspannungen aufgenommen werden können. Der Bewehrungsgehalt muss demzufolge für jedes Bauvorhaben speziell ermittelt werden, sodass die Rissbreite durch Zwang zum Beispiel aus abfallender Hydratationswärme ein bestimmtes Rissbreitenmaß nicht überschreitet. Der Bewehrungsgehalt wird nach statischen Vorgaben berechnet und festgelegt.

### 3.1.3 Ausführung einer Ortbetonwand

Als einer der ersten Schritte der Wandherstellung bei einer Ortbetonwand ist das Aufstellen der äußeren Wandschale. Nachdem die Schalungselemente ausgerichtet und stabilisiert worden sind, kann die erforderliche Bewehrung eingebracht werden. Vor dem Aufstellen der inneren Schalungselemente kann das Abdichtungsmaterial, welches den Arbeitsanschluss zwischen Sohle und Wand abdichtet, gründlich auf Schäden untersucht werden.

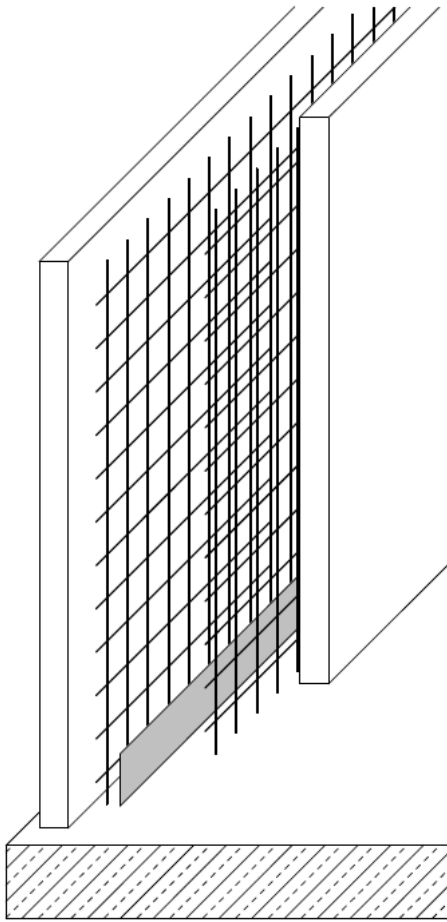


Abbildung 3: Skizze eines Bewehrungsquerschnitt in einer Ortbetonwand



Abbildung 4: Schalungskörper einer Ortbetonwand  
(Bildquelle: wir-bauen.webnode.at)

Wenn beide Schalungslinien aufgestellt worden sind, werden sie durch Spindelstangen mit einander verbunden. So wird sichergestellt, dass die Schalung dem Frischbetondruck standhält. Der Betoniervorgang findet mit Hilfe einer Betonpumpe statt. Der Transportbeton wird lagenweise in die Schalung eingebracht. Die Fallhöhe des Betons von maximal einem Meter darf nicht überschritten werden. Durch die Betonlagen, die je nach Schalungshersteller zwischen 50 und 80cm einzuhalten sind, wird der Frischbetondruck nicht überschritten. Jede Betonlage muss nachlaufend mit einem Betonrüttler verdichtet werden.



Abbildung 5: Schichtweise eingebrachter Beton  
(Bildquelle: sautter.com)



Nach dem Aushärten des Betons kann die Wandschalung entfernt werden. Der Prozess der Schalungsreinigung gehört ebenfalls zum Arbeitsablauf einer Ortbetonwand.

Um die Zwangsspannungen, die durch abfallende Hydratationswärme entstehen, so gering wie möglich zu halten, muss der Beton wenn nötig bei sehr geringer Außentemperatur vor zu schnellem Abkühlen geschützt werden. Im Winter kann dies durch eine flächige Wärmedämmung erreicht werden. Im Sommer muss der junge Beton vor zu starkem Wasserverlust geschützt werden. Abdeckfolien und gelegentliches Wässern verhindern ein Austrocknen und somit Trockenrisse.

## **3.2 Dreifachwandelement als Ausführungsweise**

### **3.2.1 Beschreibung einer Dreifachelementwand**

Eine Dreifachwand wird aus zwei äußeren Schalen als Fertigbetonteil und einem Kern aus Ortbeton errichtet. Nach Erhärtung des Kernbetons ist eine lückenlose wasserundurchlässige Betonkonstruktion entstanden. Wenn die Stoßfugen der Wandelemente durch geeignetes Material abgedichtet werden, kann auf ein Bewehren auf der Baustelle verzichtet werden. Neben der fehlenden Schaltätigkeit führt dies zu einer Ersparnis an Zeitaufwand gegenüber der Ortbetonbauweise. Es muss keine Wandschalung aufgestellt und vorgehalten werden. In den meisten Fällen reicht ein normaler Baustellenkran nicht aus, um die Halbfertigteilelemente zu versetzen. Die Baustelle muss über ausreichend Platz verfügen, um ein Transportfahrzeug und Autokran gleichzeitig vorhalten zu können.

### **3.2.2 Planung zur Wand**

Da die Wand durch die einzelnen Elemente in klar gegliederte Abschnitte aufgeteilt wird, kann der Entwurfsgrundsatz der Trennrissvermeidung durch Ausbildung der Sollrissfugen aufgefasst werden. Die lotrechten Elementstöße bilden jeweils diese Fugen aus. Durch die Ausbildung von Sollrissfugen an klar definierten Stellen kann sichergestellt werden, dass der sonstige Wandquerschnitt rissfrei bleibt. Als Querschnittsschwächung zur Sollrissbildung reichen die verbundfreien Fugen der Fertigteilplatten bei einer Wandstärke bis etwa 40 cm aus. Bei dickeren Wandstärken sollte die Kernbetonschicht zusätzlich unterbrochen werden. Die Wandstärke wird im Vergleich zu einer Ausführung als Ortbetonwand in vielen Fällen größer gewählt, um eine ausreichend dicke Kernbetonschicht zu erhalten.

Um die Wasserundurchlässigkeit auch an den Elementstößen sicher zu stellen, werden sie vor dem Betonieren mit einer Fugenabdichtung versehen. Als Abdichtungsmaterial für diesen Zweck eignen sich verschiedene Materialien, wie Fugenbänder oder beschichtete Fugenbleche. Dichtrohre führen durch ihre Form zu einer zusätzlichen Querschnittsschwächung. Erst ab einer Wandstärke bei Dreifachwänden von 40 cm ist eine zusätzliche Querschnittsschwächung günstig. Injektionsschläuche, die nach dem Aushärten des Betons durch eine Injektionslösung verpresst werden, sind für Sollrissfugen ungeeignet. Da eine Bewegung in der Fuge auch zum Zeitpunkt von späterem Zwang wie durch Tem-

peraturwechsel oder Setzungen möglich ist, müsste ein Injektionsschlauch bei jeder Undichtigkeit erneut abgedichtet werden. Fugenbänder und beschichtete Fugenbleche sind bewegungsunempfindlich und eignen sich somit. Das vertikal verlaufende Abdichtungselement muss mit dem horizontalen Fugenblech verbunden werden, um einen umlaufende Fugenabdichtung zu schaffen.

Der Bewehrungsgehalt der Halbfertigteile wird im Normalfall vom beauftragten Fertigteilwerk von der Statik des geplanten Bauvorhabens umgerechnet. Der Bewehrungsgehalt ist im Verhältnis zu einer vergleichbaren Ortbetonwand kleiner, da auf eine Bemessung der Bewehrung durch den Lastfall frühen Zwang durch abfallende Hydratationswärme verzichtet werden kann.

Ein nachträgliches Abdichten von Dreifachwänden ist prinzipiell möglich, aber sehr aufwendig. Wenn ein wasserführender Riss unplanmäßig im Kernbeton entsteht, kann es möglich sein, dass eine Wasseraustrittsstelle, die auf den Riss aufmerksam macht, an einer anderen Stelle auftritt, als der eigentliche Schaden. Dies ist möglich wenn der Verbund zwischen Fertigteil und Kernbeton nicht vollständig gegeben ist. Die Fehlstelle, die durch Hochdruckinjektion abgedichtet werden muss, ist so schwer zu lokalisieren. Um eine weitere Undichtigkeiten ausschließen zu können, muss ein großflächiger Teil der Wand bearbeitet werden. Eine solche Arbeit ist kostenmäßig schwer zu erfassen. Aus diesem Grund muss bei einer Abdichtung der Fugen genügend Aufmerksamkeit eingebracht werden.

### **3.2.3 Ausführungsweise als Dreifachelementwand**

Die Halbfertigteilenelemente werden in einem Betonfertigteilwerk gefertigt und nach Erhärtung zur Baustelle transportiert. Auf der Baustelle müssen sie durch einen Autokran versetzt werden, da die einzelnen Elemente durch ihre Ausmaße oft ein Gewicht über 5 Tonnen erreichen. Vor der Montage werden an den Innenseiten des späteren Wandkorpus Dränbretter angebracht. Dränbretter verhindern ein Auslaufen des flüssigen Betons. Da die Elemente zum besseren Verbund der Sohle zum Kernbeton eine möglichst breite Anschlussfläche haben sollen, werden die Elemente durch Distanzklötze mindestens 3cm aufgeständert. Der Kernbeton füllt so die gesamte Bauteilbreite aus, was zu einer höheren Wasserundurchlässigkeit an der Anschlussfuge führt. Beim Aufstellen müssen mehrere Arbeiten verrichtet werden. Die Elemente werden per Kran auf die Position versetzt. Beim Positionieren der Betonhalbfertigteilwände muss darauf geachtet werden, dass das Fugenblech, welches den wasserundurchlässigen Anschluss von Sohle und Wand sicherstellt nicht beschädigt wird. Die aufrechte Fugendichtung muss in dem Elementstoßen angebracht werden. Um das Element von den Kranketten lösen zu können, muss es durch Schrägstützen befestigt werden. Je nach Größe des Wandelements werden mindestens zwei Schrägstützen aus Stahl benötigt, die das Halbfertigteil im Montagezustand mit der Sohle verbinden. Während der Kran ein weiteres Element heran holt, muss die Fugendichtung innerhalb der lotrechten Anschlussfuge mit einem Fugendichtband versehen werden. Aufgrund dieser Tätigkeiten beträgt die Kranspielzeit, die der Kran braucht, um einen kompletten Aufstellzyklus zu durchlaufen, etwa 25-30 Minuten. Wenn alle Wan-

delemente aufgestellt wurden, kann der andere horizontal umlaufende 3 cm hohe Schlitz an der äußeren Unterkante mit Dränbrettern geschlossen werden. Zur Montageansicht siehe Abbildung 6.

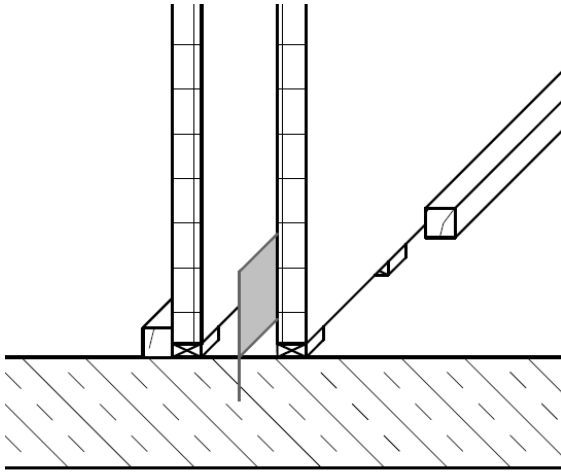


Abbildung 6: Querschnitt eines Wandelementes

Die Eckpunkte der Wände müssen vor dem Betonieren abgespannt werden, da die filigranen Platten beim Betonieren ohne Ecksicherung dem Frischbetondruck nicht standhalten und auseinander brechen würden.

Direkt vor dem Betonieren ist es wichtig, dass die Elementwandinnenseiten vorgegast werden, damit ein guter Verbund zwischen Fertig- und Frischbeton entsteht. Der Betoniervorgang des Kernbetons erfolgt im Regelfall mit einer Betonpumpe. Es kann so eine zügige Betoniergeschwindigkeit erreicht werden. Die erste Lage, die einzubringen ist, ist eine Anschlussmischung mit dem Größtkorndurchmesser von 8 mm und einer weichen bis sehr weichen Konsistenz (Konsistenzklasse F3 – F4). Diese Anschlussschicht hat eine Mindesthöhe von 30 cm. Sie sorgt dafür, dass der eigentliche Kernbeton sich beim Einbringen nicht entmischt, außerdem wird so die Wasserundurchlässigkeit im Fußpunkt der Wand hergestellt. Die feinkörnige Mischung kann den 3 cm Schlitz an der Wandunterkante vollständig ausfüllen. Die Dränbretter ergeben eine Abschalung für die Anschlussmischung. Der Kernbeton besteht aus einem Beton der Festigkeitsklasse C 25/30 und einer Korngröße von 16 mm. Da der Frischbetondruck in den Elementen nicht überschritten werden darf, muss der Ortbeton in einzelnen Schichten eingebracht werden. Die maximale Schichthöhe beträgt ca. 80 cm. Die Schichten werden jeweils umlaufen durch eine Betonpumpe in die Wand eingebracht.

Jede Schicht muss nachlaufend durch eine Flaschenrüttler oder ähnlichem Gerät verdichtet werden. Für ein wasserundurchlässiges Betongefüge dürfen keine oder möglichst wenig Lufteinschlüsse vorhanden sein.

Um den Kernbeton der Elementwand vor Austrocknung zu schützen, wird die Oberseite der Wand bei zu starker Sonneneinstrahlung durch eine Folie oder feuchte Tücher abgedeckt. Trennrisse im Kernbeton sollen durch einen guten Verbund der drei Betonschalen vermieden werden.

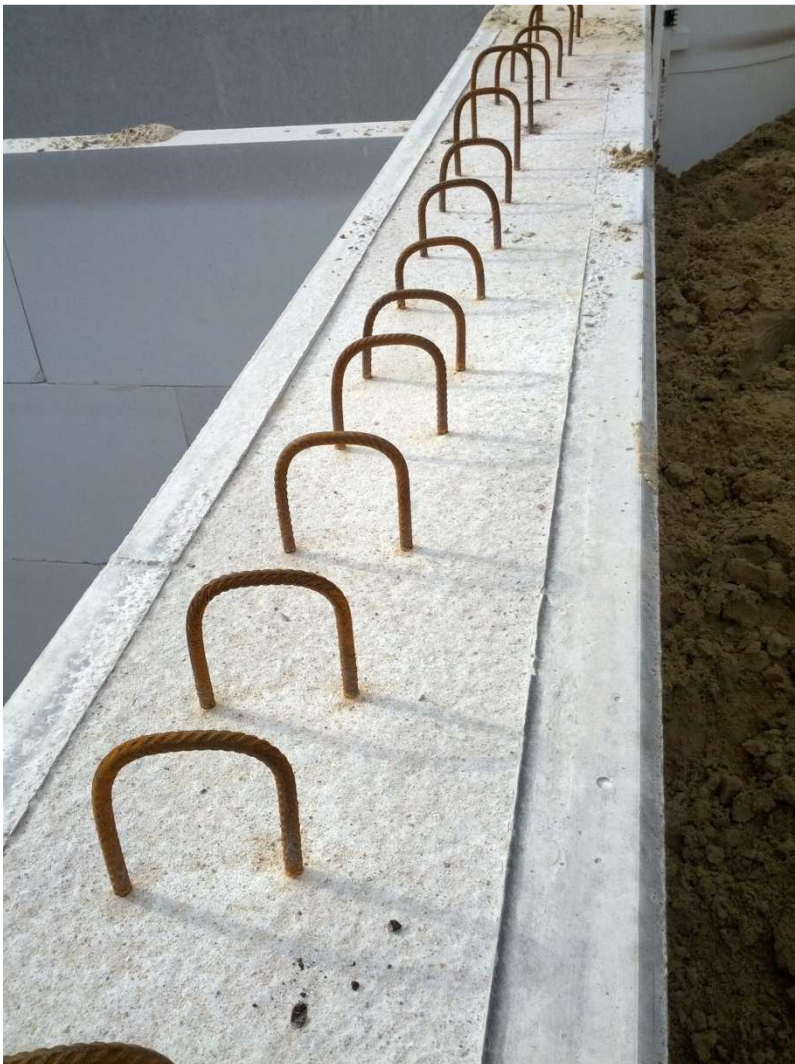


Abbildung 7: Dreifachelementwand

## **4 GRUNDLAGEN ZUM VERGLEICHSKONZEPT**

Zum Vergleich der beiden Ausführungsarten, wird ein Vergleichskonzept ausgearbeitet, sodass eine einheitliche Darstellung sichergestellt werden kann.

Das Schaubild auf der folgenden Seite zeigt schematisch den Ablauf einer Kostenermittlung, um ein allgemein beschriebenes Bauobjekt mit festgelegten Parametern wirtschaftlich in verschiedenen Ausführungsweisen zu unterscheiden. Das Schaubild besteht tabelleartig aus vier Spalten. Jede Spalte beinhaltet einen Bereich zur Kostenermittlung einer Bauausführung, der entweder abhängig von dem Bauvorhaben selbst, abhängig von der Ausführungsweise oder allgemeingültig ist. In jeder Spalte befinden sich Punkte die im Folgenden beschrieben werden.

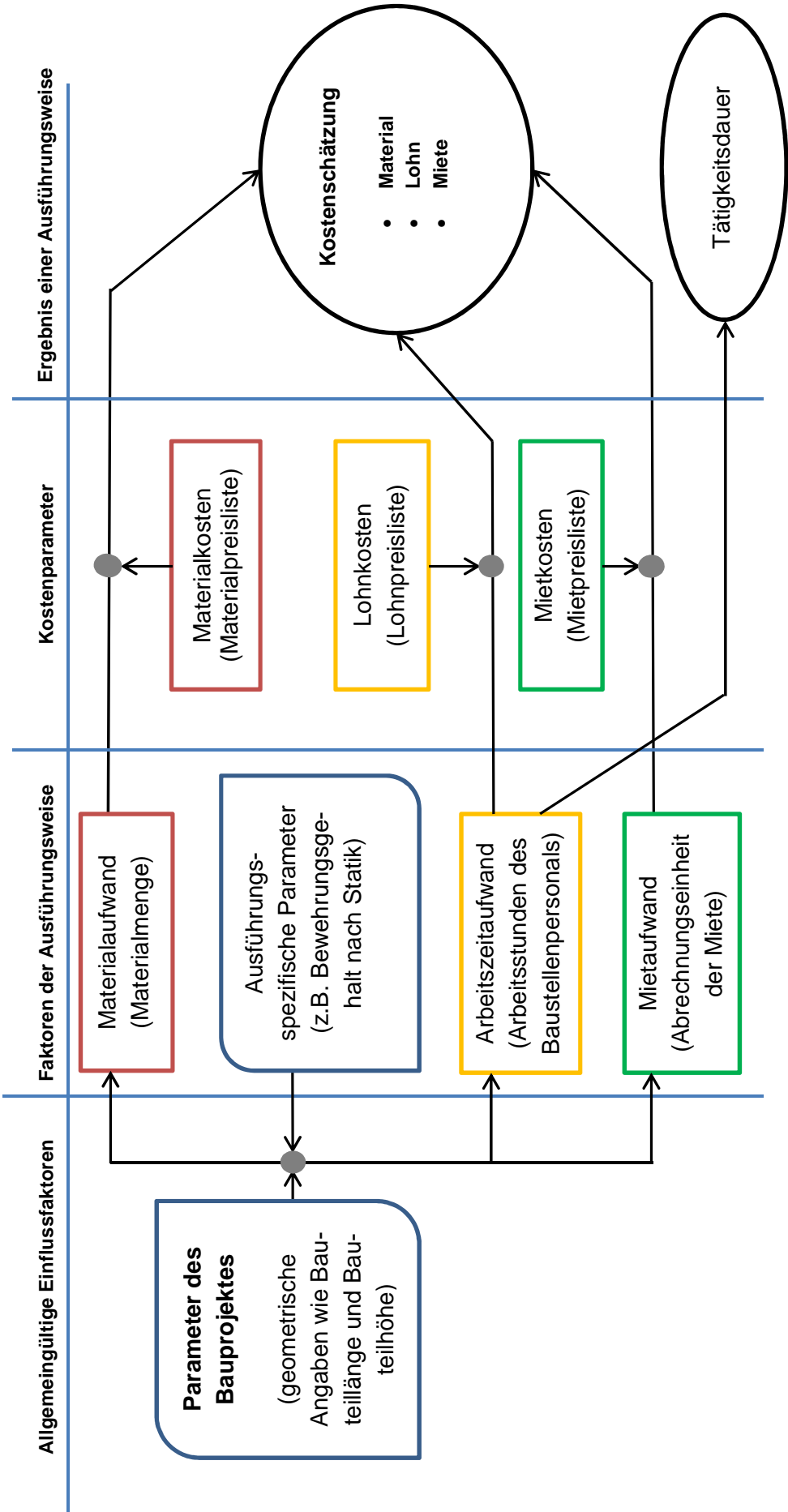


Abbildung 8: Schaubild des Vergleichskonzeptes

## 4.1 Allgemeine Einflussfaktoren

In der ersten Spalte der tabellarischen Gliederung des Schaubildes befinden sich die Abmessungen einer Kellerwand, wie Kellerwandlänge und Wandhöhe. Sie bleiben unabhängig von der Ausführungsweise gleich. Diese geometrischen Parameter werden innerhalb eines Vergleiches zwischen mehreren Bauarten einer Kellerwand nicht verändert. Anhand dieser Grundangaben, in Verbindung mit weiteren Angaben zu den Ausführungsweisen, ergeben sich die Grundlagen der Berechnung des Vergleichskonzeptes.

## 4.2 Faktoren der Ausführungsweise

Die zweite Spalte zeigt Angaben zur jeweiligen Ausführung, bestehend aus spezifischen Wandangaben, Materialaufwand, Arbeitszeitaufwand und Mietaufwand. Da unterschiedliche Ausführungen auf verschiedene Weise hergestellt werden, bestehen diese vier Elemente für jede Wandbauweise aus anderen Komponenten. Das bedeutet, wenn für eine Bauausführung zwei Ausführungsweisen verglichen werden sollen, werden die vier Inhalte der zweiten Spalte für jede Ausführung mit den passenden Inhaltswerten parallel angegeben und berechnet.

Neben den allgemeinen Parametern des Bauprojektes, die in der ersten Spalte beschrieben sind, werden in der zweiten Spalte, Parameter abhängig von der Ausführungsweise betrachtet. Diese ausführungsspezifischen Angaben enthalten zum Beispiel Wandstärke, Bewehrungsgehalt und eventuell Anzahl von eingesetzten Elementen. Da solche Angaben abhängig von der Art und Weise der Ausführung sind, müssen sie bei einem Vergleich von zwei unterschiedlichen Kellerwandarten jeweils für einen Typ ermittelt werden.

Alle Aufwendungen, wie Material-, Zeit- und Mietaufwand, werden ebenfalls direkt auf die Ausführungsweise bezogen. In dem Vergleich zwischen Ortbeton- und Dreifachelementwand beziehen sich die vier Punkte aus der zweiten Spalte des Schaubildes jeweils auf eine Ausführungsweise und müssen für die nächsten Ausführungsweisen wiederholt werden. Die Beträge in den Aufwandstabellen errechnen sich aus den Angaben aus Bauprojekt und Ausführung.

Die Menge des Materials wird rechnerisch aus den geometrischen Angaben des Bauvorhabens ermittelt. Der Zeitaufwand für die jeweilige Teilleistung wird aus Erfahrungen an bereits abgeleistete Bauvorhaben ermessen. Der Mietaufwand leitet sich je nach Berechnungseinheit von einem Materialaufwand oder einem Zeitaufwand ab.

### **4.3 Kostenparameter**

Die verschiedenen Zeit- und Materialaufwandswerte werden in der dritten Spalte mit Kosten versehen. Um einen Kostenvergleich zu erzielen, werden Tabellen die jeweils Kostenwerte für Material, Lohn und Mietkosten beinhalten in Verbindung mit allen Aufwänden aus der zweiten Spalte kombiniert. So kann mit der Gesamtzahl des Aufwandes für eine Bauleistung zusammen mit einem Einheitspreis des Materials, des Lohns oder der Miete ein gesamter Preis einer Teilleistung berechnet werden. Die Summe der Teilleistungen ergibt den Kostenbedarf der Ausführungsweise. Die Angaben zu den Kostenwerten werden aus Quellen ermittelt. Damit nicht unnötig viele Tabellen entstehen, werden unabhängig der Ausführungsweise alle Kosten für Materialien, Lohn und Miete in jeweils einer Tabelle erfasst.

### **4.4 Ergebnis einer Ausführungsweise**

Die Summe der Kostenwerte aus Material, Lohn und Miete für eine Ausführungsweise führen zu den Gesamtkosten für die jeweils betrachtete Bauausführung. Bei einem rechnerischen Vergleich werden für die Vergleichbarkeit zu realen Preisen, jeweils auf Lohn- und Materialkosten Zuschläge für beispielhafte Geschäftskosten auf addiert. Die Ausführungen lassen sich anhand der berechneten Gesamtkosten vergleichen. Neben einem Kostenvergleich wird, durch die Zeitwerte der unterschiedlichen Ausführungen ein Vergleich der Bauzeit möglich. Die Angaben zum zeitlichen Ablauf werden unabhängig von der Kostenberechnung aus den Tabellen des Arbeitszeitaufwandes entnommen.



## 5 ALLGEMEIN GÜLTIGE FAKTOREN

In der nachfolgenden Tabelle „Parameter eines Bauvorhaben, werden geometrische Werte des Bauobjektes gezeigt. Sie sind unabhängig von der Ausführungsart, mit welcher die Kellerwand hergestellt werden soll. Die Maß- und Eckangaben bilden den Hauptteil zur Berechnung der Mengen und Massen für die Einzelleistungen. Diese Faktoren befinden sich in der ersten Spalte des Schaubildes in Kapitel 4.

Tab. 1	Parameter eines Bauvorhaben	Kürzel	Einheit
1.	Länge der Kellerwand	$l_w$	m
2.	Höhe der Kellerwand	$h_w$	m
3.	Eckanzahl	$n_{Ecken}$	Stück

Die folgenden Punkte beschreiben den Inhalt der Tabelle, wie er und in welcher Einheit er errechnet wird und außerdem warum der jeweilige Parameter wichtig zur Beschreibung des Bauprojektes ist.

- zu 1. Als Länge der Kellerwand wird die umlaufende Strecke der Innenseite der Keller- außenwand betrachtet. Bei einem Vergleich von unterschiedlichen Ausführungsarten einer Kellerkonstruktion, deren Wanddicke variiert, kann die Länge der umlaufenden Außenlinie nicht allgemein beschrieben werden. Bei dieser Aussage wird davon ausgegangen, dass die Größe der Kellernettofläche ausführungstechnisch als fixe Planungseinheit gilt.
- zu 2. Die Höhe der Kellerwand entspricht der Rohbauhöhe der Wand. Berechnet wird sie von Oberkante Stahlbetonsohle bis zur Unterkante Rohdecke. Es wird davon ausgegangen, dass die Höhe der gesamten Wand dem Einfluss von drückendem Grundwasser ohne Leckstellen standhalten muss. Zusammen mit der Wandlänge aus 1. kann mit der Wandhöhe die Wandfläche errechnet werden.
- zu 3. Die Eckanzahl wird für verschiedene Berechnungen benötigt. Bei der Dreifachwand zum Beispiel werden Zeitaufwendungen auf die Eckanzahl umgelegt. Es werden nur Baukörper betrachtet, dessen Ecken einen Winkel von 90° haben.

## 6 FAKTOREN DER AUSFÜHRUNGSWEISEN

Stahlbetonwände, die das Grund- und Sickerwasser durch Ihre konstruktive Ausführung und betontechnologische Gestaltung vom Bauteilinneren fernhalten sollen, können auf verschiedenen Ausführungsweisen hergestellt werden. Die Methoden der Ort beton- und der Dreifachelementwand werden im nachfolgenden Kapitel erläutert und beschrieben.

### 6.1 Ort betonbauweise

#### 6.1.1 Ausführungsabhängige Parameter

Für die Kostenschätzung der Ort betonwand sind neben den Angaben der Geometrie des Baukörpers zusätzlich Angaben wie Wanddicke und Bewehrungsgehalt nötig. In Verbindung mit Aufwandswerten können die Massen ermittelt werden. Diese Parameter werden aus Zeichnungen und Statik der jeweiligen Bauausführung entnommen. Siehe hierzu die Tabelle „Ausführungsabhängige Parameter einer Ort betonwand“.

Tab. 2	Ausführungsabhängige Parameter einer Ort betonwand	Kürzel	Einheit
1	Dicke der Wand	$d_w$	m
2	Bewehrungsgehalt der Wand in horizontaler Lage	$a_{s, \text{hori}}$	cm <sup>2</sup> /m
3	Bewehrungsgehalt der Wand in vertikaler Lage	$a_{s, \text{vert}}$	cm <sup>2</sup> /m
4	Zulagebewehrung in den Ecken	<i>Zulage</i>	kg/Ecke

Die folgende Auflistung erläutert den Inhalt der Tabelle für die ausführungsspezifischen Parameter der Ort betonbauweise.

- zu 1. Die Dicke der Wand ist je nach Ausführungsweise unterschiedlich. Für Ort beton soll nach Lohmeyer/ Ebeling, (Weiße Wannen einfach und sicher) eine Mindestwandbereite bei drückendem Grundwasser von ca. 24 cm eingehalten werden. Die Wandstärke wird in Metern angegeben, da sich alle errechneten Einheiten auf diese Grundeinheit beziehen.
- zu 2. Der horizontale Bewehrungsgehalt der Wand legt sich nach der Bemessung der Rissbreitenbegrenzung fest. Der wahrscheinliche maßgebende Lastfall der abfallenden Hydratationswärme muss bemessen werden. Der Wert für den Bewehrungsgehalt hat die Einheit cm<sup>2</sup>/m und kann der entsprechenden Statik entnommen werden.
- zu 3. Der Massengehalt der vertikal verlaufenden Bewehrung legt sich nach der statischen Belastung des Gebäudes fest. Der Anteil an vertikaler Bewehrung wird ebenfalls in cm<sup>2</sup>/m angegeben. Durch einen Umrechnungsfaktor der Stahldichte kann bei Bedarf das flächenbezogene Bewehrungsgewicht errechnet werden.

- zu 4. Die Zulagebewehrung für die ECKAusbildung ergibt sich aus der umlaufenden horizontalen Bewehrung. Der tatsächliche Bewehrungsgehalt muss mit einer zutreffenden Verankerungslänge der Ecken errechnet werden. Der Wert wird direkt in einen Gewichtsgehalt umgerechnet.

### 6.1.2 Materialaufwand für die Ortbetonwand

In der Tabelle für den Materialaufwand einer Ortbetonwand im Anschluss befindet sich eine Auflistung des das Material, das zur Herstellung einer Ortbetonwand benötigt wird. Die Mengen werden aus den Parametern von Bauvorhaben und Bauausführung errechnet. Da noch kein konkretes Beispiel bearbeitet wird, enthält die Tabelle nur die Art des Materials und die Einheit in der die Menge des einzelnen Materials für das Bauprojekt beschrieben erläutert.

Tab. 3	Materialaufwand einer Ortbetonwand	Einheit
1	Transportbetonmenge C 25/30 32mm Körnung	m <sup>3</sup>
2	Bewehrungsgehalt horizontal	kg
3	Bewehrungsgehalt vertikal	kg
4	Bewehrungsgehalt als Eckzulage	kg
5	Kleineteile für eine Ortbetonwand	m

Die Beschreibung des Materials, die gewählte Mengeneinheit und die interne Formeln zur Berechnung der Materialmengen, werden in den folgenden Punkten im Zusammenhang mit der Tabelle erklärt.

- zu 1. Die Transportbetonmenge berechnet sich aus der Wandhöhe und der Breite des Wandquerschnittes

$$Betonmenge [m^3] = l_w[m] \times h_w[m] \times d_w[m]$$

- zu 2. Der Bewehrungsgehalt der horizontalen Lage errechnet sich in kg. Aus dem Bewehrungsgehalt  $A_{s,hor}$  [cm<sup>2</sup>/m] multipliziert mit der umgerechneten Dichte des Baustahls 0,785 kg/(cm<sup>2</sup> x m) und den Abmessungen der Wand, ergibt sich das erforderliche Stahlgewicht. Um Stöße für das tatsächliche Stahlgewicht in der Flächenbewehrung zu berücksichtigen, wird ein Zuschlagsfaktor von 1,15 einbezogen

$$Bewehrung_{hori} [kg] = A_{s,hori} \left[ \frac{cm^2}{m} \right] \times 0,785 \left[ \frac{kg}{cm^2 \times m} \right] \times l_w [m] \times h_w [m] \times 1,15 [-]$$

- zu 3. Das gesamt Gewicht der vertikalen Bewehrung errechnet sich wie das Gewicht der horizontalen Lage.

$$Bewehrung_{vert} [kg] = A_{s,vert} \left[ \frac{cm^2}{m} \right] \times 0,785 \left[ \frac{kg}{cm^2 \times m} \right] \times l_w [m] \times h_w [m] \times 1,15 [-]$$

- zu 4. Das Gewicht des Stahls für die Eckzulage wird mit der Anzahl der Ecken im Bauwerk multipliziert.

$$Bewehrung_{Ecke} [kg] = Zulage [kg] \times n_{Ecken} [-]$$

- zu 5. Der Anteil an Kleinmaterial wie Befestigungsmittel und weiteres Material zum Abstützen wird der Einfachheit halber in einen Meterwert umgelegt, da es umlaufend verwendet wird.

$$\text{Kleinmaterial [m]} = \text{Anteil}_{\text{kleinm.[-]}} \times l_w \text{ [m]}$$

### 6.1.3 Arbeitszeitaufwand für eine Ortbetonwand

Die Arbeitsdauer wird an Einheiten der Wandabmessungen oder aus Materialmenge bezogen. In der Tabelle „Zeitaufwand einer Ortbetonwand“ werden die Zeitansätze nach eigenen Erfahrungen entsprechend aufgelistet. In der Spalte Einzeldauer wird die Zeitspanne beschrieben, die der Vorgang in der Realität dauert. Mit der Anzahl von ausführenden Arbeitern kann der gesamte Zeitaufwand errechnet werden, der bei einer Lohnkostenermittlung abgerechnet werden muss.

Tab. 4	Zeitaufwand einer Ortbetonwand	Einzeldauer	Anzahl Arbeiter	gesamter Aufwand
1	Schalung aufstellen	0,10 h/m <sup>2</sup>	4	0,40 h/m <sup>2</sup>
2	Bewehren	3,50 h/t	4	14,00 h/t
3	Betonieren der Schichten	0,12 h/m <sup>3</sup>	4	0,48 h/m <sup>3</sup>
4	Ausschalen der Wand inkl. Reinigen	0,08 h/m <sup>2</sup>	4	0,32 h/m <sup>2</sup>
5	Nachbehandlung	0,02 h/m <sup>2</sup>	2	0,04 h/m <sup>2</sup>

Die Ermittlung des Zeitbedarfes einer Ortbetonwand aus der Tabelle wird in den nächsten Punkten erklärt.

- zu 1. Mit dem Aufstellen der Schalung kann eine Kolonne von vier Arbeitern mit Hilfe eines Baustellenkranes angesetzt werden. Durchschnittlich kann ein Aufwand zum Schalen von 0,10 h pro m<sup>2</sup> Wand angenommen werden. Da vier Arbeiter die Tätigkeit verrichten, wird der Zeitaufwand mit 0,40 h/m<sup>2</sup> berechnet.
- zu 2. Das Bewehren der Wand wird mit einem Zeitfaktor von 3,50 h/t angenommen. Die Dauer der Arbeit hängt von der zu verlegenden Menge der Bewehrung ab und wird deswegen in Gewicht pro Zeit definiert. Diese Gesamtzeit pro Tonne ist mit einer Kolonnengröße von 4 Mitarbeitern zu erreichen. Die zu beaufschlagende Gesamtzeit beträgt 14,00 h/t.
- zu 3. Für das schichtweise Betonieren mit Hilfe einer Betonpumpe, werden pro m<sup>3</sup> Beton 0,12 Stunden benötigt. Da beim Vorgang eine Kolonne von 4 Mitarbeitern beschäftigt ist, die mit Tätigkeiten wie Beton einbringen, verdichten und abarbeiten, beträgt der Zeitanatz 0,48 h/m<sup>3</sup>.
- zu 4. Das Ausschalen der Wand wird mit einem ähnlichen Zeitfaktor versehen, wie das Einschalen. Das aufwendige Ausrichten der Schalung entfällt beim Ausschalen, dafür muss die Schalung nach dem Einsatz gereinigt werden. Der Gesamtzeitaufwand wird mit 0,32 h/m<sup>2</sup> angenommen.

- zu 5. Die Nachbehandlung der Betonwand ist stark wetterabhängig und kann nur pauschal angenommen werden. Für Wässern und Abdecken der Betonwand werden  $0,02 \text{ h/m}^2$  angesetzt. Bei einer Ausführung der Arbeit mit zwei Personen beträgt der gesamte Zeitaufwand  $0,04 \text{ h/m}^2$

#### 6.1.4 Mietaufwand:

In der folgenden Tabelle wird der Mietaufwand einer Ortbetonwand beschrieben. Der Aufwand zur Miete bezieht sich entweder auf eine zeitliche Dauer in der Ausführung oder auf eine Materialmenge, die verbaut wird.

Tab. 5	Mietaufwand einer Ortbetonwand	Einheit
1	Baustellenkran	entfällt
2	Schalungsmiete	$\text{m}^2$
3	Betonpumpe	$\text{m}^3$

In den nachfolgenden Punkten werden die Inhalte der Tabelle erläutert.

- zu 1. Der Baukran wird bei einer üblichen Baustellenkalkulation in die Baustelleneinkosten eingeordnet, da er meist über die ganze Bauzeit gesehen auf der Baustelle vorgehalten wird. Aus diesem Grund wird er für die Kostenschätzung der Ortbetonwand nicht weiter berücksichtigt.
- zu 2. Das Vorhalten der Schalung wird als Mietaufwand angesehen, da eine Berücksichtigung von Eigenschalung zu schwer einschätzbaren Kosten führen würde. Das Mieten einer Schalung erfolgt in den meisten Fällen im Monatsrhythmus und wird pro  $\text{m}^2$  berechnet. Die Dauer des Schalungseinsatzes ergibt sich aus den Zeitanätzen vom Einschalen bis einschließlich dem Ausschalen multipliziert mit Wandfläche. In Größenordnungen von bis zu ca.  $500 \text{ m}^2$  Wandfläche und bei einmaligem Schalungseinsatz kann von einer Vorhaltung für einen Monat ausgegangen werden.
- zu 3. Der Einsatz der Betonpumpe wird pro  $\text{m}^3$  gepumpter Beton abgerechnet. Der Fahrer des Pumpfahrzeuges ist im Mengenpreis einbegriffen.

## 6.2 Dreifachwand

### 6.2.1 Ausführungsabhängige Parameter

Wie bei der Ausführung in Ortbetonbauweise sind auch bei einer Dreifachwand neben den geometrischen Angaben zur Kellerwand noch weitere Parameter nötig. Die Angaben, die sich direkt auf die Dreifachelementwand beziehen, werden in der nachfolgenden Tabelle „Ausführungsabhängige Parameter einer Dreifachwand“ aufgeführt. Neben den Angaben zur Dicke und Bewehrungsgehalt kommt die Angabe der Elementanzahl und der Gewichtsgehalt der Abstandsböcke hinzu.

Tab. 6	Ausführungsabhängige Parameter einer Dreifachwand	Kürzel	Einheit
1	Dicke des Kernbeton	$d_{w,Kern}$	m
2	Bewehrungsgehalt der Elementplatten in horizontaler Lage	$a_{s,hor}$	cm <sup>2</sup> /m
3	Bewehrungsgehalt der Elementplatten in vertikaler Lage	$a_{s,vert}$	cm <sup>2</sup> /m
4	Abstandsböcke	$Gehalt$	kg/m <sup>2</sup>
5	Anzahl der Elemente	$n_{Elem}$	Stück

Der Inhalt der Tabelle zu den ausführungabhängigen Parametern der Dreifachelementwand wird in den nachfolgenden Punkten erläutert.

- zu 1. Die Dicke des Kernbetons hängt von der Dicke der Wand ab. Die äußere Breite der Wand abzüglich einer Schalenbreite von ca. 5,5cm und einer Schalenbreite von ca. 6,5 cm ergibt den Anteil an Kernbeton. Die Breite der Wand kann unter Umständen größer sein, als eine vergleichbare Ausführung in Ortbeton.
- zu 2. Die horizontale Bewehrung wird meistens vom Betonfertigteilwerk von der ursprünglichen Statik umgerechnet. Der horizontale Bewehrungsgehalt einer Dreifachwand ist im Normalfall geringer als bei einer vergleichbaren Ortbetonwand. Der Hydratationswärmeverlust führt zu geringeren Spannungen, da die Platten sich im Werk beim Abbinden frei verformen können.
- zu 3. Der Bewehrungsgehalt in der Horizontallage wird ebenfalls vom Fertigteilwerk angepasst, er ist im Normalfall ähnlich dem einer Ortbetonwand.
- zu 4. Die Abstandsböcke sind nicht von der Statik des Gebäudes abhängig oder zur Rissbegrenzung notwendig. Sie halten die äußere und innere Fertigteilplatte zusammen und verhindern ein Auseinanderplatzen bei Frischbetondruck. Sie haben einen horizontalen Verlegeabstand von ca. 45cm. Das Gewicht der Böcke beträgt bei einer Wandstärke von 36,5 cm ca. 3 kg/m<sup>2</sup>.
- zu 5. Die Anzahl der Elemente ist für die Kostenanalyse einer Dreifachelementwand sehr wichtig. Tätigkeiten wie Aufstellen der Elemente sind nur schwierig mit üblichen Abrechnungseinheiten wie m<sup>2</sup> zu verbinden. Die Kranspielzeit, um Elemente zu transportieren, ist in der Regel unabhängig von der Elementfläche.

### 6.2.2 Materialaufwand für die Dreifachwand

Das Material, das bei der Herstellung einer Dreifachelementwand benötigt wird, ist in der folgenden Tabelle „Materialaufwand einer Dreifachwand“ beschrieben. Anders als bei Ortbetonwänden werden hier Materialien zum Teil auch auf die Anzahl der Elemente bezogen.

Tab. 7	Materialaufwand einer Dreifachelementwand	Einheit
1	Halbfertigteilwandelemente	m <sup>2</sup>
2	Bewehrungsgehalt horizontal	kg
3	Bewehrungsgehalt vertikal	kg
4	Abstandsbocke	kg
5	Transportbeton 8 mm für Anschlussmischung	m <sup>3</sup>
6	Transportbeton für den Kernbeton	m <sup>3</sup>
7	Fugenband für Anschlussfugen an geraden Wandstößen	Stoß
8	Fugenband für Anschlussfugen an Eckfugen	Ecke
9	Hilfsmaterial für Dreifachwand	m
10	Flachbleche für Eckstabilisierung	Ecke
11	Montagehilfe	Element

Die nummerierten Zeilen der Materialaufwandstabelle für Dreifachelementwände werden nachfolgend punktweise erläutert. Die Rechenwerte werden in Formel dargestellt.

- zu 1. Die Halbfertigteilelemente werden nach Fläche berechnet. Die Wandfläche in etwa die Elementfläche.

$$\text{Wandfläche [m}^2\text{]} = h_w \times b_w$$

- zu 2. Das Abrechnungsgewicht der Bewehrung in Horizontalrichtung leitet sich aus dem erforderlichen Bewehrungsgehalt zur Zwangsbeanspruchung ab. Der Umrechnungsfaktor der Stahldichte von cm<sup>2</sup>/m auf kg/m beträgt 0,785 kg/cm<sup>2</sup>/m.

$$\text{Bewehrung}_{\text{hori}} [\text{kg}] = a_{s,\text{hori}} \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] \times l_w [\text{m}] \times h_w [\text{m}]$$

- zu 3. Das Bewehrungsgewicht in vertikaler Lage hängt von der Auflast des Gebäudes ab. Der Umrechnungsfaktor wird wie in Punkt 2 verrechnet.

$$\text{Bewehrung}_{\text{vert}} [\text{kg}] = a_{s,\text{vert}} \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] \times l_w [\text{m}] \times h_w [\text{m}] \times 1,15 [-]$$

- zu 4. Abstandsbocke, die die Platten aus Fertigbeton zusammenhalten, werden wie die sonstige Bewehrung nach Gewicht abgerechnet. Aus dem Gewicht pro m<sup>2</sup> und der Gesamtfläche der Wand entsteht das gesamte Gewicht in kg.

$$\text{Abst. Böcke} [\text{kg}] = \text{Gehalt} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] \times h_w [\text{m}] \times l_w [\text{m}]$$

- zu 5. Die Anschlussmischung mit 8 mm Korngröße wird in einer mindestens 30cm hohen Schicht betoniert. Zur Berechnung der Masse werden die umlaufende Mauerlänge, die Kernbetonstärke und die 0,3 m miteinander multipliziert.

$$\text{Anschlussmischung [m}^3\text{]} = 0,3 \text{ [m]} \times d_{w,Kern} \text{ [m]} \times l_w \text{ [m]}$$

- zu 6. Der Massenanteil des Kernbetons wird in m<sup>3</sup> ermittelt. Von der Wandfläche muss der Anteil abgezogen werden, der mit Anschlussmischung ausgefüllt ist.

$$\text{Kernbeton [m}^3\text{]} = d_{w,Kern} \text{ [m]} \times (h_w \text{ [m]} - 0,3 \text{ [m]}) \times l_w \text{ [m]}$$

- zu 7. Die Anzahl der vertikal verlaufenden Fugenbänder bei geraden Elementanschlüssen, kann durch die Anzahl der Elemente abzüglich der Eckanzahl errechnet werden

$$\text{Fugenband}_{gerade} \text{ [Stück]} = n_{Elemente} - n_{Ecken}$$

- zu 8. Das Fugenband, welches vertikal durch die Eckanschlüsse zu verlegen ist, wird von der Anzahl der Ecken des Kellergrundrisses abgeleitet.

$$\text{Fugenband}_{Ecken} \text{ [Stück]} = n_{Ecken}$$

- zu 9. Das Hilfsmaterial wie Distanzklötze und Dränbretter wird auf die umlaufende Länge des Grundrisses in der Materialkostenrechnung pro Meter umgerechnet.

$$\text{Hilfsmaterial [m]} = l_w$$

- zu 10. Die Flachbleche um die Ecken der Elemente beim Betonieren zu stabilisieren, werden auf die Anzahl der Ecken umgerechnet.

$$\text{Eckanzahl [Stück]} = n_{Ecken}$$

- zu 11. Die Montagehilfen für den Transport und das Versetzen, werden auf jeweils ein Element umgerechnet.

$$\text{Elementanzahl [Stück]}$$



### 6.2.3 Arbeitszeitaufwand bei Dreifachelementwänden

Bei der Herstellung von Dreifachwänden sind mehrere Einzelleistungen zu erbringen. Zudem sind Arbeiten auf andere Bezugspunkte wie zum Beispiel Elementanzahl bezogen. In der unteren Tabelle „Zeitaufwand einer Dreifachelementwand“ sind die Vorgänge benannt und zu dem mit einer Einzeldauer, einer Anzahl von Arbeitern und einem Gesamtaufwand ergänzt. Die Einzeldauer beschreibt die tatsächliche Dauer des ausgeführten Vorganges. Die Anzahl der Arbeitskräfte multipliziert mit der Einzeldauer ergibt den gesamten Zeitaufwand. Der gesamte Zeitaufwand wird in der Kostenermittlung benötigt. Die Zeitanätze der Einzeltätigkeiten sind nach eigener Erfahrung gewählt worden.

Tab. 8	Zeitaufwand einer Dreifachelementwand	Einzeldauer	Anzahl Arbeiter	Gesamtaufwand
1	Vorarbeiten	0,01 h/m	4	0,04 h/m
2	Aufstellen, Abstützen der Dreifachelemente	0,45 h/El.	4	1,80 h/El.
3	Anbringen der Pentaflexdichtung	0,15 h/El.	2	0,30 h/El.
4	Eckstabilisierenden Flachbleche anbringen	0,20 h/Eck	2	0,40 h/Eck
5	Vorwässern der Elementwandinnenseiten	0,01 h/m	1	0,01 h/m
6	Betonieren der 8 mm Anschlussmischung	0,12 h/m <sup>3</sup>	4	0,48 h/m <sup>3</sup>
7	Betonieren des Kernbetons	0,12 h/m <sup>3</sup>	4	0,48 h/m <sup>3</sup>
8	Nachbehandlung zur Trennrissvermeidung	0,01 h/m <sup>2</sup>	1	0,01 h/m <sup>2</sup>
9	Demontage der Schrägstützen	0,06 h/El.	2	0,12 h/El.
10	Entfernen der Dränbretter	0,02 h/m	2	0,04 h/m

Die einzelnen Leistungen der oberen Tabelle werden in den nachfolgenden Punkten beschrieben und erläutert.

- zu 1. Die vorbereitenden Arbeiten werden auf die Einheit Meter bezogen. Dränbretter müssen nach Wandstellung eingemessen und weitere Nebentätigkeiten erledigt werden. Für zwei Arbeiter wird eine Gesamtzeit von 0,04 Stunden pro Meter Wandlänge beaufschlagt.
- zu 2. Für das Aufstellen der Elemente wird eine Taktdauer von ca. 25-30 Minuten angesetzt. Zu dem Arbeitstakt gehören die Tätigkeiten wie Aufstellen, Ausrichten, das Element in die Kranketten einhängen und aushängen sowie die Schwenkzeit des Kranes. Bei vier Mitarbeitern die sich an dem Vorgang beteiligen, wird eine Gesamtzeit von 1,80 h/Element angenommen.
- zu 3. Die Pentaflexdichtungen werden von zwei Personen innerhalb jeder Elementfuge zwischen der Innen- und Außenschale angebracht. Der Vorgang dauert 0,15 Stunden pro Element. Der gesamt abzurechnende Zeitaufwand beträgt 0,3 h/Element.
- zu 4. Pro Ecke, an der Flachstahl zur Stabilisation angebracht werden muss, benötigen 2 Arbeiter eine summierte Dauer von 0,4 Stunden.

- zu 5. Das Vorwässern der Elementwandinnenseiten kann von einer Person ausgeführt werden. Diese Tätigkeit wird mit 0,01 h/m beaufschlagt, da sie umlaufend ausgeführt werden kann.
- zu 6. Die Anschlussmischung wird in einem Betonierumlauf mit Hilfe einer Betonpumpe eingebracht. Für den Betonierfortschritt wird eine Dauer von 0,12 h/m<sup>3</sup> festgelegt. In diesem Zeitraum können sich 4 Personen mit Einbringen und Verdichtung des Betons beschäftigen.
- zu 7. Das Betonieren des Kernbetons wird ebenfalls auf die Betonmenge umgelegt. Pro m<sup>3</sup> Beton werden 0,12 Stunden angenommen. Bei vier Mitarbeitern, die für Arbeiten wie Beton einbringen, nacharbeiten und verdichten des Betons zuständig sind, beträgt die summierte Dauer 0,48 h/m<sup>3</sup>.
- zu 8. Da die Trennrissgefahr bei einer Dreifachwand mit Sollrissbildung nicht so hoch ist, muss ein verhältnismäßig geringer Zeitraum für die Nachbehandlung eingeräumt werden. Für zum Beispiel das Schützen vor direkter Sonneneinstrahlung wird ein Zeitaufwand von 0,01 h/m<sup>2</sup> angenommen.
- zu 9. Da die Stützenanzahl abhängig von der Anzahl der Elemente ist, wird der Zeitaufwand zur Demontage auf jeweils ein Elementteil umgelegt. Um die Stützen von einem Element zu entfernen und weg zu transportieren, wird eine gesamte Dauer von 0,12 Stunden pro Element angenommen.
- zu 10. Das Entfernen und Wegräumen der Dränbretter wird mit der Wandlänge berechnet. Es wird ein Zeitraum von 0,02 h/m angenommen.

#### 6.2.4 Mietaufwand bei Dreifachelementwänden:

Der Mietaufwand für die einzelnen Leistungen der Dreifachelementwand ergibt sich aus der benötigten Zeit und den benötigten Materialien, die jeweils mit dem Mietgerät zusammen hängen. In der Tabelle „Mietaufwand einer Dreifachelementwand“ im Anschluss, werden die Leistungen und Geräte, die üblicherweise bei der Herstellung einer Dreifachelementwand hinzu gemietet werden, aufgelistet. Zusätzlich wird die Einheit aufgezeigt, von der der Aufwand abhängig ist.

Tab. 9	Mietaufwand einer Dreifachelementwand	Einheit
1	Autokran	h/Element
2	Miete für Schrägstützen	Pro Element
3	Betonpumpe	m <sup>3</sup>

In den folgenden Punkten wird der Mietaufwand aus der Tabelle erläutert.

- zu 1. Die Arbeitszeit des Krans hängt direkt mit der Versetzzeit pro Element zusammen. Zu dieser nach Elementzahl variablen Arbeitszeit wird eine Stunde für Auf- und Abbau sowie An- und Abfahrt aufaddiert.
- zu 2. Da die Mietzeit für Stützen monatlich betrachtet wird, beträgt die Abrechnungsdauer einen Monat. Der Zeitraum im abgestützten Zustand geht in der Regel nicht über einen Monat hinaus. Für jedes Element werden zwei Stützen benötigt.
- zu 3. Die Berechnung des Mietaufwandes bei dem Betonieren des Kernbetons gestaltet sich wie bei dem Pumpvorgang zur Herstellung der Ortbetonwand. Zur Berechnung siehe die Erläuterung zum Mietaufwand bei der Ortbetonvariante.

## 7 KOSTENPARAMETER

In den Kostenparametern werden alle Aufwendungen die je nach Ausführungsweise aufgelistet wurden mit einem Kostenwert versehen. Die Angaben werden abschnittsweise in Tabellen für jeweils Material-, Lohn- und Mietkosten zusammengefasst. Die Kostenwerte sind aus Quellen wie ausführende Unternehmen oder aus unterschiedlichen Literaturen entnommen worden.

### 7.1 Festlegung des Materials und der Materialkosten

In der Tabelle „Materialpreisliste“, die die Materialkosten aufweist, werden alle Materialien aufgelistet, die in den vorherigen Abschnitten für die beiden zu vergleichenden Ausführungsweisen aufgezählt werden. Jedes Material ist mit dem Kostenwert in Euro und die Einheit auf welche sich der Kostenwert bezieht aufgelistet.

Tab. 10	Materialpreisliste	Einheit
1	Transportbeton C25/30 WU F3 32 mm Körnung	93,00 €/m <sup>3</sup>
2	Transportbeton C25/30 WU F3 16 mm Körnung	95,50 €/m <sup>3</sup>
3	Transportbeton C25/30 WU F4 8 mm Körnung	99,00 €/m <sup>3</sup>
4	Betonstahl BST 500 (Fertigteilwerk)	1,35 €/kg
5	Betonstahl BST 500	0,75 €/kg
6	Kleinmaterial für die Ortbetonwand	2,00 €/m
7	Kleinmaterial für die Dreifachwand	2,80 €/m
8	Halbfertigteilwandelemente	34,00 €/m <sup>2</sup>
9	Fugenband für geraden Elementstoß bei Dreifachwänden	68,50 €/Stoß
10	Fugenband für Elementeckstoß bei Dreifachwänden	72,00 €/Stoß
11	Montagehilfen für Dreifachwandelemente	27,80 €/Element
12	Flachbleche zur Eckstabilisierung von Dreifachwandelementen	15,00 €/Ecke

Die Kostenwerte und Bezugsquellen der aufgelisteten Materialien werden in den nachfolgenden Punkten beschrieben.

- zu 1. Transportbeton mit 32 mm Körnung ist für die Ortbetonwand geeignet. Die Regelwandstärke bei Ortbetonwänden als wasserundurchlässiges Betonbauteil lässt diese Größe des Kieses zu. Die Gesteinskörnung mit bis zu 32 mm Größtkorn weist einen guten Verbund im Beton auf. Transportbeton dieser Güte kostet laut Betonwerk 93,00 €/m<sup>3</sup>

Quelle: Preisliste Ragano Betonwerk

- zu 2. Ein Beton mit einem Größtkorndurchmesser von 16 mm ist geeignet für den Kernbeton einer Dreifachwand. Durch die mittelgroße Körnung kann dieser Beton ohne Bildung von Luftblasen in engere Betoniergassen eingebracht werden. Transportbeton dieser Güte setzt sich auf der Preisbasis des oben genannten Betons mit 32 mm Größtkorn und einem Zuschlag von 2,50 €/m<sup>3</sup> für einen Größtkorndurchmesser auf 16 mm zusammen. Die Kosten des Transportbetons C 25/30 WU 16 mm Größtkorn betragen 95,50 €/m<sup>3</sup>  
Quelle: Preisliste Ragano Betonwerk (im Anhang)
- zu 3. Als Anschlussmischung für die erste Betonschicht, dient ein Beton mit 8 mm Körnung. Er bildet ein Fallpolster und verhindert, dass der Kernbeton sich beim Einpumpen entmischt. Er hat die Konsistenzklasse F4, um fließfähig genug zu sein, damit er den Fußpunkt der Dreifachwand vollständig ausfüllt. Die Kosten des Betons setzen sich wie in 2. auf Basis des Betons mit 32 mm Körnung von 93 €/m<sup>3</sup>, einem Zuschlag für 8 mm Größtkorn von 3,00 €/m<sup>3</sup> und einem Zuschlag für Fließmittel von 3,00 €/m<sup>3</sup>. Der Betonpreis für C 25/30 WU F4 8mm beträgt 99,00 €/m<sup>3</sup>  
Quelle: Preisliste Ragano Betonwerk (im Anhang)
- zu 4. Im Fertigteilwerk verlegter Stahl ist teurer als Betonstahl der auf die Baustelle geliefert wird. Im Kilopreis des Stahls aus Dreifachwandelement wird der Verlegeaufwand einbezogen. Im Werk verlegter Stahl kostet 1,35 €/kg.  
Quelle: Betonfertigteilwerk Ragano Nordhorn
- zu 5. Betonstahl der vom Stahlhändler auf die Baustelle geliefert wird kostet 0,75 €/kg.
- zu 6. Als Kleinteile für die Ortbetonwand zählen Abstandhalter zur Betondeckung, Bewehrungsdraht um den verlegten Betonstahl zu fixieren und Holzlatten um die Schalung am Verrutschen auf der Sohle zu hindern. Der Preis für diese Kleinteile wird Pauschal angenommen mit 2,00 €/m
- zu 7. Zu dem Kleinteilmaterial der Dreifachelementwand zählt das Montagezubehör wie Distanzklötze. Laut Preisliste im Anhang wird es mit 1,80 €/m angesetzt. Zudem werden für Dränbretter zusätzlich 1,00 €/m aufgeschlagen.
- zu 8. Das Dreifachwandelement wird von einem Fertigteilwerk hergestellt. Die Grundkosten des Halbfertigteiles werden auf m<sup>2</sup> der Wandfläche umgelegt. Der Preis pro Quadratmeter bei einer Schalendicke von 5,5 cm innen und 6,5 cm außen beträgt 34,00 € bei einer Betongüte von C25/30.  
Quelle: Betonfertigteilwerk Ragano Nordhorn
- zu 9. Das Fugenband um Elementstöße im geraden Wandverlauf einer Dreifachwand abzudichten kostet pro Fuge 68,50€  
Quelle: Preisliste Ragano Betonfertigteilwerk (im Anhang)
- zu 10. Fugenband für die Eckanschlüsse bei Dreifachwandelementen kosten pro Eckstoß 72,00 €  
Quelle: Preisliste Ragano Betonfertigteilwerk (im Anhang)

zu 11. Halbfertigteile einer Dreifachwand sind nur mit Hilfe eines Krans zu versetzen. Um die Ketten des Krans und die Ladesicherung des Transportes ohne Beschädigung der Wandelemente befestigen zu können, werden Transport- und Montagehilfen benötigt. Die Kosten pro Element setzen sich aus zwei Montagehülsen für jeweils 4,70 € und zwei Transportankern für jeweils 9,20 € zusammen. Die Kosten pro Element betragen summiert 27,80 €

Quelle: Preisliste von Ragano Betonfertigteile im Anhang

zu 12. Flachbleche werden benötigt, um während des Betonieren einer Dreifachwand die Ecken in denen sich keine Gitterträger befinden zu stabilisieren. Der Kostenaufwand für diese Bleche beträgt laut Preisliste im Anhang pro Ecke 15,00 €.

## 7.2 Ermittlung der Lohnkosten

Alle Arbeiten die vom Personal auf der Baustelle erledigt werden, berechnen sich unabhängig von der Ausführungsweise mit einem einheitlichen Lohnkostenbetrag. Lohnkosten werden aus verschiedenen Faktoren berechnet. Der tarifliche Mittelohn der Kolonne wird multipliziert mit den Faktoren für Lohnneben-, Lohnzusatz- und Geschäftskosten. Als Produkt entstehen die Lohnkosten. In der nachfolgenden Tabelle „Lohnpreisliste“ sind die einzelnen Bestandteile des Mittellohns aufgelistet.

Tab. 11	Lohnpreisliste	Anteil	Betrag	Aufsummierung
1	Kolonnen Mittelohn		17,95 €/h	17,95 €/h
2	+ Soziallohn	128 %	22,98 €/h	5,03 €/h
3	+ Sozialkosten	125 %	28,73 €/h	5,75 €/h
4	+ Anteil der Geschäftskosten	140 %	40,22 €/h	11,49 €/h
5	= Beispielhaften Lohnkosten			40,22 €/h

In den folgenden Punkten werden die Bestandteile zu den Lohnkosten, die in der oberen Tabelle genannt werden erläutert.

- zu 1. Der Lohn ist im Baugewerbe an Tarifverträge gebunden. Der durchschnittliche Mittelohn wird mit 17,95 €/h angenommen. Das entspricht einer Kolonne mit einem Polier und drei weiteren Arbeitern.
- zu 2. Soziallöhne werden anteilmäßig für Ausfalltage, an Lohn gezahlt aber keine Arbeit verrichtet wird. Dazu gehören Urlaubstage, Freistellung für Weiterbildung, Gesetzliche Feiertage und Krankheitstage.
- zu 3. Sozialkosten entstehen dem Arbeitgeber durch Zusatzleistungen wie Arbeitslosen-, Renten-, Kranken-, Pflege- und Unfallversicherung.
- zu 4. Um die Vergleichbarkeit zwischen Lohn- und Materialaufwand zu ermöglichen wird dem Lohnaufwand durch einen Zuschlag ein Anteil der allgemeinen Geschäftskosten für ein Bauunternehmen zugewiesen.
- zu 5. Die Summe des Mittellohns und der Zuschläge ergibt den Lohnkostensatz.

### 7.3 Ermittlung der Mietkosten

In der Tabelle „Mietpreisliste“ werden alle Mietaufwendungen berücksichtigt die zur Herstellung der beiden Ausführungsweisen benötigt werden. Sie sind nicht zeitabhängig. Je nach Mietaufwand können sie von einer Mengeneinheit abgeleitet werden, auf der sich die Miete des Gerätes direkt bezieht.

Tab. 12.1	Mietpreisliste	Kosten
1	Autokran	152,25 €/h
2	Betonpumpe	Siehe zu 2.
3	Schalung	7,95 €/m <sup>2</sup>
4	Schrägstützen	6,80 €/Element

In den folgenden Punkten werden zur Nachvollziehbarkeit alle Inhalte der Tabelle erläutert.

- zu 1. Der Autokran wird nach Einsatzstunden berechnet. Zu der Zeit, in der er auf der Baustelle ausführende Tätigkeiten wie Elemente aufstellen verrichtet, wird noch einen Stunde für die An- und Abfahrt aufaddiert. Ein Kranstunde eines 100 t Kranes kostet 145 €. Hinzu kommt eine Hakenlastversicherung von 7,25 €/h. Der gesamte Mietbetrag entspricht 152,25 €/h  
Quelle: Preisliste J+B Kuipers aus Anhang
- zu 2. Für den allgemeinen Einsatz eines Pumpfahrzeuges auf Baustelle mit Zufahrtmöglichkeiten für LKW, wird eine Betonpumpe mit einer Auslage von 38 m gewählt. Die Kosten der Betonpumpe werden nach der Menge des gepumpten Betons ermittelt. Bei einer Fördermenge bis 30 m<sup>3</sup> werden Pauschale Preise festgelegt. Ab 31 m<sup>3</sup> zu pumpender Beton, wird eine einheitliche Pauschale mit einem Einheitspreis je Pumpmenge addiert. Die Berechnung des genauen Mietpreises ist möglich wenn die Menge des zu pumpenden Betons bekannt ist.

Pumpmenge	Berechnungseinheit	Pumpkosten
0-10 m <sup>3</sup>	Pauschal pro Einsatz	357,00 €
11-20 m <sup>3</sup>	Pauschal pro Einsatz	420,00 €
21-30 m <sup>3</sup>	Pauschal pro Einsatz	483,00 €
ab 31 m <sup>3</sup>	Pauschal (plus folgende Einheitspreise)	168,00€
31-50 m <sup>3</sup>	je gepumpter m <sup>3</sup> Beton	12,50 €/m <sup>3</sup>
51-80 m <sup>3</sup>	je gepumpter m <sup>3</sup> Beton	12,10 €/m <sup>3</sup>
81-130 m <sup>3</sup>	je gepumpter m <sup>3</sup> Beton	11,60 €/m <sup>3</sup>
130-200 m <sup>3</sup>	je gepumpter m <sup>3</sup> Beton	11,00 €/m <sup>3</sup>
ab 200	je gepumpter m <sup>3</sup> Beton	10,50 €/m <sup>3</sup>

Tabelle 12.2: Mietkosten Betonpumpe

Quelle: Ragano Transportbeton Nordhorn GmbH & Co. KG



- zu 3. Die Schalungskosten werden in m<sup>2</sup> Wandfläche laut Baugeräteliste 2007 berechnet. Bei einem großflächigen Rahmenschalsystem nach BGL beträgt die monatliche Abschreibungs- und Verzinsungsrate 4,60 € bis 5,30 €. Hinzu kommt der monatliche Reparaturkostenfaktor von 3,00 €. Der mittlere Kostenwert der als Mietaufwand angesehen werden kann, beträgt monatlich 7,95 €/m<sup>2</sup>.
- zu 4. Aufwandskosten von Schrägstützen zum Abfangen von Lasten beim Betonieren der Kernbetonschicht und als Montagehilfe für Elementwände werden ebenfalls nach Baugeräteliste errechnet. Der mittlere Wert für Abschreibung- und Verzinsungskosten liegt bei Baustützen wie auch Schrägstützen zwischen 2,00 € und 2,20 € pro Monat. Der monatliche Reparaturkostenfaktor beträgt laut BGL 1,30 €/Monat. Die Mietkosten einer Stütze betragen monatlich 3,40 €. Pro Wandelement werden mindestens zwei Stützen benötigt, wodurch der Preisansatz der Kostenermittlung 6,80 €/Element beträgt.

Schalungs- wie auch Stützenkosten sind jeweils mit einem monatlichen Kostenwert angegeben. Bei einer einmaligen Nutzung, wird der gesamte monatliche Mietpreis, unabhängig von der Dauer, angerechnet.

## 8 BEISPIELBEZOGENER VERGLEICH

Das Vergleichsergebnis zwischen Ortbetonwand und Dreifachwand soll anhand eines Beispielgebäudes und mit Hilfe des Schaubildes in Abschnitt 3 ermittelt werden. Die allgemein beschriebenen Bedingungen aus den oberen Kapiteln, werden nachfolgend an dem Beispiel angewendet, sodass ein vergleichbares Ergebnis von Kostenwert und Zeitdauer entsteht. Bei der Durchführung des Vergleichs nach dem Schaubild, werden die Kosten aus den Preislisten direkt in die Aufwandstabelle eingeführt. Die dritte Spalte des Schaubildes wird nicht mehr zusätzlich aufgelistet.

### 8.1 Vergleichsdurchführung an einem Bauobjekt

Um den realen Vergleich verschiedenartiger Ausführungsweisen zur Herstellung von wasserundurchlässigen Betonbauwerken im baugrundberührten Bereich zu ermöglichen, muss ein Beispiel heran gezogen werden, an dem grundsätzlich beide Varianten ausführbar sind.

Die Parameter für das Bauobjekt werden anhand der geometrischen Bedingungen des gewählten Gebäudes festgelegt. Die Parameter für die jeweilige Bauweise werden anhand des Gebäudes und der baulichen Vorgaben von Nutzungsklasse und Beanspruchungsklasse gewählt.

#### 8.1.1 Vorstellung des Beispielgebäudes

Das Gebäude ist ein Neubau für ca. 20 Wohneinheiten. Der Baukörper ist zum Teil unterkellert. Der Kellerraum dient als Abstellraum und kann wegen der minderwertigeren Nutzung in die Nutzungsklasse B eingeordnet werden. Der aktuelle Grundwasserstand beträgt laut Bodengutachten im Anhang 2,05 m unter anstehender Geländeoberkante. Damit ist der derzeitige Grundwasserstand rund einen Meter über Unterkante Kellersohle. Der Keller wird demnach von drückendem Grundwasser beansprucht. Die Weiße Wanne muss unter Voraussetzungen der Beanspruchungsklasse 1 errichtet werden. Da das Gebäude an Stelle eines abgerissenen Altbaus in einem sonst vollständig bebauten Stadtkern errichtet wird, liegen keine brauchbaren Erfahrungswerte über den höchst anzunehmenden Grundwasserstand vor. Der Bemessungswasserstand wird aus diesem Grund auf Oberkante Gelände angesetzt. Die volle Höhe der Kellerwandkonstruktion muss in wasserundurchlässiger Betonbauweise hergestellt werden.

Die Ausführungsweisen Ortbeton- und Dreifachelementwand werden auf Basis des Kellers in Abbildung 8 berechnet. Da es sich um einen Vergleich der Wandkonstruktionen handelt, werden Arbeiten wie Anschlussbewehrung und Fugenabdichtung zwischen Wand und Sohle oder Wand und Decke nicht betrachtet. Im Rahmen des Vergleichskonzeptes sind Innenwände sowie Fenster in der Außenwand kein Bestandteil der Berechnung.

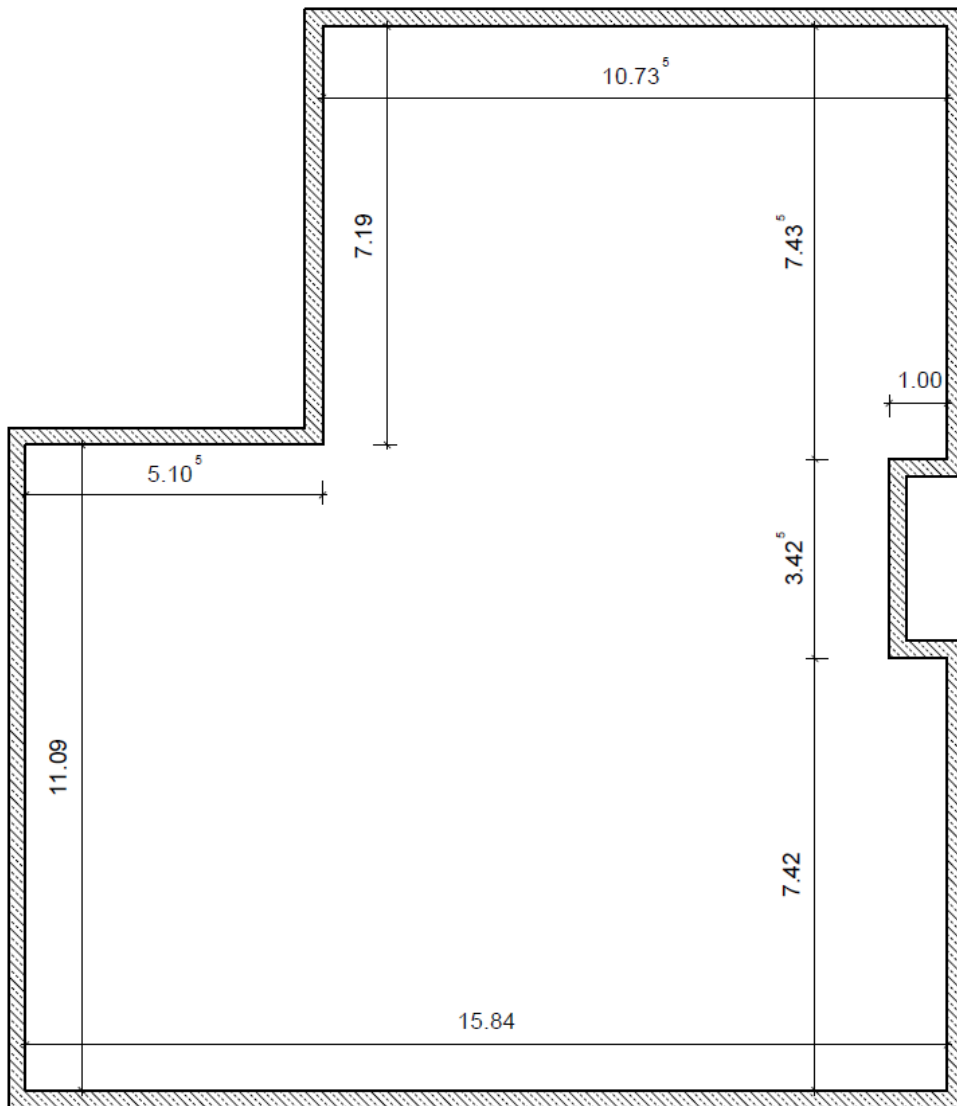


Abbildung 9: Ausführungsskizze des Beispielkellers

Das Gebäude hat eine gesamte Wandlänge von 70,225 m und insgesamt 10 Eckenpunkten mit 90°Winkeln. Die Höhe der Wand im Keller des Gebäudes beträgt 2,30 m.

### 8.1.2 Entwicklung der geometrischen Angaben als Parameter

Aus den Inhalten des Abschnittes 8.1.1 ergeben sich die Angaben zu den Parametern, die abhängig von dem Bauvorhaben sind. Die geometrischen Längen und Anzahlen werden in der unteren Tabelle „Parameter des Beispielbauvorhaben“ aufgelistet. Diese Angaben sind in Verbindung mit den Parametern der jeweiligen Konstruktionsweise ausschlaggebend für die Berechnung an dem gegebenen Beispiel.

Tab. 13	Parameter des Beispielbauvorhaben	Kürzel	Betrag
1	Länge der Kellerwand	$l_w$	70,225 m
2	Höhe der Kellerwand	$h_w$	2,30 m
3	Eckanzahl	$n_{Ecke}$	10 Ecken

Die Berechnungen der Inhaltswerte der Tabelle für die geometrischen Parameter des Beispielbauvorhabens werden in den nächsten Punkten erläutert.

zu 1. Die Länge der Kellerwand ermittelt sich aus den Einzellängen der Kellerwand

$$l_w = 11,09 \text{ m} + 5,105 \text{ m} + 7,19 \text{ m} + 10,735 \text{ m} + 7,435 \text{ m} + 1,00 \text{ m} + 3,425 \text{ m} + 7,42 \text{ m} + 15,84 \text{ m} = 70,225 \text{ m}$$

zu 2. Die Höhe der Kellerwand beträgt laut Angaben aus der Baubeschreibung von Oberkante Sohle bis Unterkante Decke 2,30 m

$$h_w = 2,30 \text{ m}$$

zu 3. Der Keller besteht ausschließlich aus rechtwinkligen Ecken.

$$n_{Ecke} = 10 \text{ Stück}$$

## 8.2 Bauausführung als Ortbetonwand

Bei der Anwendung der Ortbetonbauweise an dem Beispielprojekt wird eine Mauerstärke von 30 cm gewählt, da die vorhandene Prüfstatik diesen Wert vorgibt. Anhand der Prüfstatik, dessen relevanter Teil sich im Anhang befindet, werden die Bewehrungsgehalte für die Ortbetonwand festgelegt. In der nächsten Tabelle „Parameter der Ortbetonwand für das Beispielgebäude“ sind die Angaben beschrieben, die speziell zur Berechnung der Ortbetonwand benötigt werden.

Tab. 14	Parameter der Ortbetonwand für das Beispielgebäude	Betrag
1	Dicke der Wand	0,3 m
2	Bewehrungsgehalt der Wand in horizontaler Lage	16,82 cm <sup>2</sup> /m
3	Bewehrungsgehalt der Wand in vertikaler Lage	6,70 cm <sup>2</sup> /m
4	Zulagebewehrung in den Ecken	9,90 kg/m

In den unten aufgelisteten Punkten wird der Bezug zu den Angaben aus der Tabelle erläutert.

- zu 1. Es wird für die Ortbetonausführung eine Wandstärke von 30 cm gewählt. Bei zulässigen auftretenden Trennrissen bis 0,2 mm kann der Beton durch drückendes Grundwasser und die Fähigkeit zur Selbstheilung den minimalen Wasserdurchtritt von selbst stoppen.

$$d_w = 0,3 \text{ m}$$

- zu 2. Der statisch zulässige Bewehrungsgehalt in Horizontallage ergibt sich aus den Bemessungen für die rissbreitenbegrenzende Bewehrung. Laut Rissbreitennachweis der Prüfstatik im Anhang beträgt die horizontale Bewehrung an der Wandinnen- und Wandaußenseite jeweils 8,41 cm<sup>2</sup> pro Meter Wandhöhe. Die Bewehrung besteht aus einer Bewehrungsmatte Q 335 (3,35 cm<sup>2</sup>/m) und 8mm Stabstahl mit einem Verlegeabstand von 15 cm (3,35 cm<sup>2</sup>/m). Da Zwangsspannung etwas oberhalb des Sohle- Wandanschlusses am Größten ist, werden zusätzlich fünf Bewehrungsstangen mit 10 mm Durchmesser eingebaut. Die zusätzlichen 3,93 cm<sup>2</sup> sind bei der Berechnung auf die gesamte Wandhöhe von 2,3 m zu beziehen.

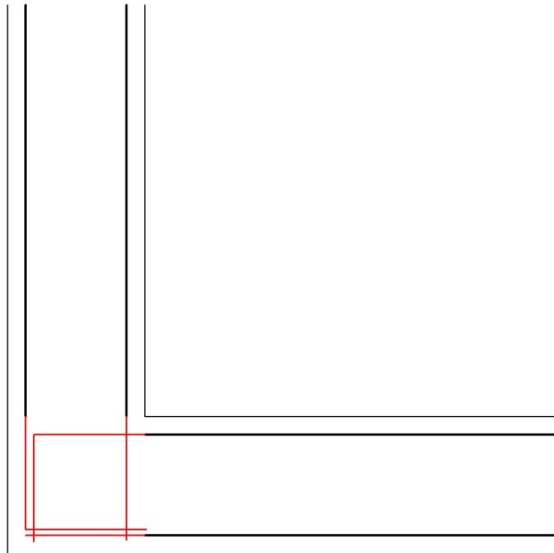
$$a_{s, \text{hori}} = 2 \times \left( \frac{3,93}{2,3} + 3,35 + 3,35 \right) \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] = 16,82 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- zu 3. Die vertikale Bewehrung wird nach Statik im Anhang mit einer Bewehrungsmatte Q 335 ausgebildet. Der Bewehrungsgehalt beträgt somit beidseitig 3,35 cm<sup>2</sup>/m

$$a_{s, \text{vert}} = 2 \times 3,35 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 6,70 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- zu 4. Der zusätzliche Bewehrungsgehalt in der Eckausbildung ergibt sich überschlägig aus dem Bewehrungsgehalte des umlaufenden Stabstahl und einer Zusatzlänge von 6 mal 25 cm (siehe Bewehrungsskizze). Eine horizontal umlaufende Stahl-lage hat ein Gehalt von  $8,41 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Die Masse des Stabstahles bezieht sich auf einen Meter der Wandhöhe und wird jeweils pro Eckausbildung betrachtet.

$$\text{Bewehrung} = 8,41 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \times 6 \times 0,25\text{m} \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] = 9,90 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$



\*———\*  
**6 x 25 cm**

Abbildung 10: Skizze Bewehrungseckzuschlag

### 8.2.1 Materialkostenberechnung der Ortbetonbauweise

Die tabellarische Berechnung der Materialkosten für die Ortbetonbauweise gestaltet sich wie folgt. Die Gesamtmenge des benötigten Materials wird aus den allgemeinen Angaben zur Wand aus Abschnitt 8.1.2 und den ausführungsspezifischen Angaben aus Abschnitt 8.2 ermittelt. Die Materialmenge wird durch die Angabe der Materialkosten aus dem Abschnitt 7.1 in den Gesamtkostenaufwand umgerechnet. Siehe zur Auflistung die Tabelle „Materialkosten der Ortbetonwand“. Auf die Summe die durch die Einzelkosten in der Tabelle entsteht, wird ein Zuschlag von 10% aufgerechnet, um einen Anteil an Geschäftskosten darzustellen.

Tab. 15	Materialkosten der Ortbetonwand	Betrag	Kosten
1	Transportbetonmenge C 25/30 32 mm F3	48,455 m <sup>3</sup>	4.506,34 €
2	Bewehrungsgehalt horizontal	2452,5 kg	1.839,39 €
3	Bewehrungsgehalt vertikal	976,9 kg	732,69 €
4	Bewehrungsgehalt Eckzulage	227,7 kg	170,78 €
5	Kleineteile für eine Ortbetonwand	70,225 m	140,45 €

In den folgenden Punkten befindet sich die Berechnung des Materialkostenaufwandes nach der oberen Tabelle für die Ausführung als Ortbetonwand.

$$\begin{aligned} \text{zu 1. Betonmenge} &= l_w[m] \times h_w[m] \times d_w[m] \\ &= 70,225 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 48,455 \text{ m}^3 \\ \text{Kosten} &= 48,455 \text{ m}^3 \times 93,00\text{€/m}^3 = 4506,34 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 2. Bewehrung} &= a_{s, \text{hori}} \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] \times l_w [m] \times h_w [m] \times 1,15 [-] \\ &= 16,82 \text{ cm/m}^2 \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] \times 70,225 \text{ m} \times 2,3 \times 1,15 [-] \\ &= 2452,5 \text{ kg} \\ \text{Kosten} &= 2452,5 \text{ kg} \times 0,75\text{€/kg} = 1839,39\text{€} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 3. Bewehrung} &= a_{s, \text{vert}} \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right] \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] \times l_w [m] \times h_w [m] \times 1,15 [-] \\ &= 6,70 \text{ cm/m}^2 \times 0,785 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 \times \text{m}} \right] \times 70,225 \text{ m} \times 2,3 \times 1,15 [-] \\ &= 976,93 \text{ kg} \\ \text{Kosten} &= 976,93 \text{ kg} \times 0,75\text{€/kg} = 732,69\text{€} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 4. Bewehrung} &= \text{Eckgehalt} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] \times h_w [m] \times n_{\text{Ecke}} [-] \\ &= 9,90 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 2,3 \text{ m} \times 10 = 227,7 \text{ kg} \\ \text{Kosten} &= 227,7 \text{ kg} \times 0,75\text{€/kg} = 170,78 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 5. Kleinmaterial} &= l_w [m] = 70,225 \text{ m} \\ \text{Kosten} &= 70,225 \text{ m} \times 2,00 \text{ €/m} = 140,45\text{€} \end{aligned}$$

Materialpreis für die Wand in Ortbetonbauweise beträgt summiert 7.389,65 €. Bei einem Aufschlag von 10 % für einen Gemeinkostenanteil wird einen Materialgesamtbetrag von 8.128,62 € errechnet.

### 8.2.2 Lohnkostenberechnung der Ortbetonbauweise

Die Lohnkosten setzen sich aus den Zeiteinheiten, die für die Aufgaben festgelegt wurden und der Gesamtmenge der betreffenden Einheit zusammen. Multipliziert ergebenden diese Werte den abzurechnenden Arbeitszeitaufwand. Der Zeitaufwand und die ermittelten Lohnkosten ergeben die Kosten für jede Teilaufgaben. Siehe die Tabelle „Lohnkosten der Ortbetonwand“.

Tab. 16	Lohnkosten der Ortbetonwand	Zeit pro Einheit	Gesamtmenge	Gesamtzeit	Kosten
1	Schalung aufstellen	0,10 h/m <sup>2</sup>	161,51 m <sup>2</sup>	4 x 16,15 h	2.598,49 €
2	Bewehren	3,5 h/t	3,657 t	4 x 12,80 h	2.059,27 €
3	Betonieren der Schichten	0,12 h/m <sup>3</sup>	48,455 m <sup>3</sup>	4 x 5,81 h	935,46 €
4	Ausschalen der Wand	0,08 h/m <sup>2</sup>	161,51 m <sup>2</sup>	4 x 12,92 h	2.078,79 €
5	Nachbehandlung	0,02 h/m <sup>2</sup>	161,51 m <sup>2</sup>	2 x 3,23 h	259,85 €

Die detaillierte Berechnung der Gesamtzeit und Kosten werden unten punktweise anhand der Tabelle dargestellt.

$$\begin{aligned} \text{zu 1. Gesamtzeit} &= 161,51 \text{ m}^2 \times 0,10 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \times 4 \text{ Arb.} = 16,15 \text{ h} \times 4 = 64,60 \text{ h} \\ \text{Kosten} &= 64,60 \text{ h} \times 40,22 \text{ €} = 2598,49 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 2. Gesamtzeit} &= (0,228 \text{ t} + 0,977 \text{ t} + 2,453 \text{ t}) \times 3,5 \frac{\text{h}}{\text{t}} \times 4 \text{ Arb.} = 51,20 \text{ h} \\ \text{Kosten} &= 51,20 \text{ h} \times 40,22 \text{ €} = 2059,27 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 3. Gesamtzeit} &= 48,455 \text{ m}^3 \times 0,12 \frac{\text{h}}{\text{m}^3} \times 4 \text{ Arb.} = 5,81 \text{ h} \times 4 = 23,26 \text{ h} \\ \text{Kosten} &= 23,26 \text{ h} \times 40,22 \text{ €} = 935,46 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 4. Gesamtzeit} &= 161,51 \text{ m}^2 \times 0,08 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \times 4 \text{ Arb.} = 12,92 \text{ h} \times 4 = 51,69 \text{ h} \\ \text{Kosten} &= 51,69 \text{ h} \times 40,22 \text{ €} = 2078,79 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 5. Gesamtzeit} &= 161,51 \text{ m}^2 \times 0,02 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} \times 2 \text{ Arb.} = 3,23 \text{ h} \times 2 = 6,46 \text{ h} \\ \text{Kosten} &= 6,46 \text{ h} \times 40,22 \text{ €} = 259,85 \text{ €} \end{aligned}$$

Die Lohnkosten für eine Kellerwand in Ortbetonbauweise bezogen auf das Beispielprojekt betragen 7.931,85 €. Der Gemeinkostenanteil ist bereit in dem Lohnverrechnungssatz enthalten.



### 8.2.3 Mietkostenberechnung der Ortbetonbauweise

Die Mietkosten ermitteln sich aus Angaben aus der Geometrie der Kellerwand oder der Menge des benötigten Materials im Zusammenhang mit dem Mietkostenfaktor der jeweiligen Einheit. Zur Auflistung siehe die folgende Tabelle „Mietkosten der Ortbetonwand“

Tab.17	Mietkosten der Ortbetonwand	Einheit	Einheitskosten	Kosten
1	Schalungsmiete	161,518 m <sup>2</sup>	7,95 €/m <sup>2</sup>	1.284,06 €
2	Betonpumpe	48,455 m <sup>3</sup>	12,50 €/m <sup>3</sup> + 168,00 €	773,68 €

Der Inhalt der Tabelle für Mietkosten wird in den folgen Punkten berechnet und erklärt.

zu 1. Die Fläche der Kellerwand beträgt 161,518 m<sup>2</sup> (Berechnung siehe oben)

$$\text{Schalungskosten} = 7,95 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \times 161,518 \text{ m}^2 = 1284,60 \text{ €}$$

zu 2. Die Fördermenge des Betons liegt mit 48,455 m<sup>3</sup> zwischen 31 und 50 m<sup>3</sup>. (Tabelle zur Berechnung siehe Kap. 7.3)

$$\text{Pumpkosten} = 168,00 \text{ €} + 12,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \times 48,455 \text{ m}^3 = 773,68 \text{ €}$$

Die Mietkosten für die Ortbetonbauweise des Beispielkellers betragen summiert 2.057,75 €.

### 8.3 Bauausführung als Dreifachelementwand

Bei der beispielhaften Ausführung des vorher benannten Bauwerks in der Ausführungsweise als Dreifachelementwand wird eine Wandstärke von 36,5 cm gewählt. Diese Wandstärke ist im Vergleich zur Ortbetonvariante dicker gewählt, da die Gefahr der Wasserdurchlässigkeit verringert wird. Das Abdichtungsverfahren bei Dreifachwänden kann deutlich kostenintensiver sein als bei einer Ortbetonwand, da nicht genau festgestellt werden kann, wo die Ursache für die Undichtigkeit ist. Durch die dickere Wand soll das Risiko einer Kostenabschätzung an die Ortbetonwand angepasst werden. Der Bewehrungsgehalt wird aus einem Elementplan entnommen der sich im Anhang befindet. Die Anzahl der Elemente wird anhand der Zeichnung und der Maximallänge gewählt von ca. 6,5 m gewählt. Siehe die Tabelle „Parameter der Dreifachelementwand für das Beispielgebäude“.

Tab. 18	Parameter der Dreifachelementwand für das Beispielgebäude	Kürzel	Einheit
1	Dicke des Kernbeton	$d_{w,Kern}$	0,245 m
2	Bewehrungsgehalt der Elementplatten in horizontaler Lage	$a_{s,hor}$	6,70 cm <sup>2</sup> /m
3	Bewehrungsgehalt der Elementplatten in vertikaler Lage	$a_{s,vert}$	6,91 cm <sup>2</sup> /m
4	Abstandböcke	<i>Gehalt</i>	3 kg/m <sup>2</sup>
5	Anzahl der Elemente	$n_{Elem}$	17 Stück

Die Ergänzung zu der Tabelle befindet sich in den folgenden aufgezählten Punkten. Alle Angaben zu Bewehrungsgehalt und Wandbestandteilen werden der Elementansicht des Anhangs entnommen. Die Angaben des Elementplanes entsprechen den durchschnittlichen Angaben auf die gesamte Wand bezogen.

- zu 1. Die Stärke des Wandelementes entspricht der gewählten Wandstärke mit 36,5 cm. Die Innenschale des Halbfertigteilelementes hat eine Dicke von 5,5 cm und die Außenschale eine Dicke von 6,5 cm.

$$d_{w,Kern} = 0,365 \text{ m} - 0,055 \text{ m} - 0,065 \text{ m} = 0,245 \text{ m}$$

- zu 2. Der Bewehrungsgehalt der Horizontallage entspricht 3,35 cm<sup>2</sup>/m je Schale.

$$a_{s,hor} = 3,35 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \times 2 = 6,70 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- zu 3. Der Bewehrungsgehalt der Vertikallage entspricht laut Zeichnung für die Innenschale 3,40 cm<sup>2</sup>/m und für die Außenschale 3,51 cm<sup>2</sup>/m.

$$a_{s,vert} = 3,40 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} + 3,51 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 6,91 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- zu 4. Die Wandstärke beträgt 36,5 cm und der Durchschnittliche Anstand der Gitterträger ist 0,45 m. Der Gehalt an Gitterträgern kann mit 3 kg/m<sup>2</sup> angenommen werden  
*Gehalt* = 3 kg/m<sup>2</sup>

zu 5. Die Anzahl der Elemente ergibt sich aus dem einem Verlegeplan der aus der Zeichnung erstellt werden kann. Die maximale Elementlänge beträgt etwa 6,5 m. Daraus folgt, dass der Keller mit 17 Elementen hergestellt wird.

$$n_{Elem} = 17 \text{ Stück}$$

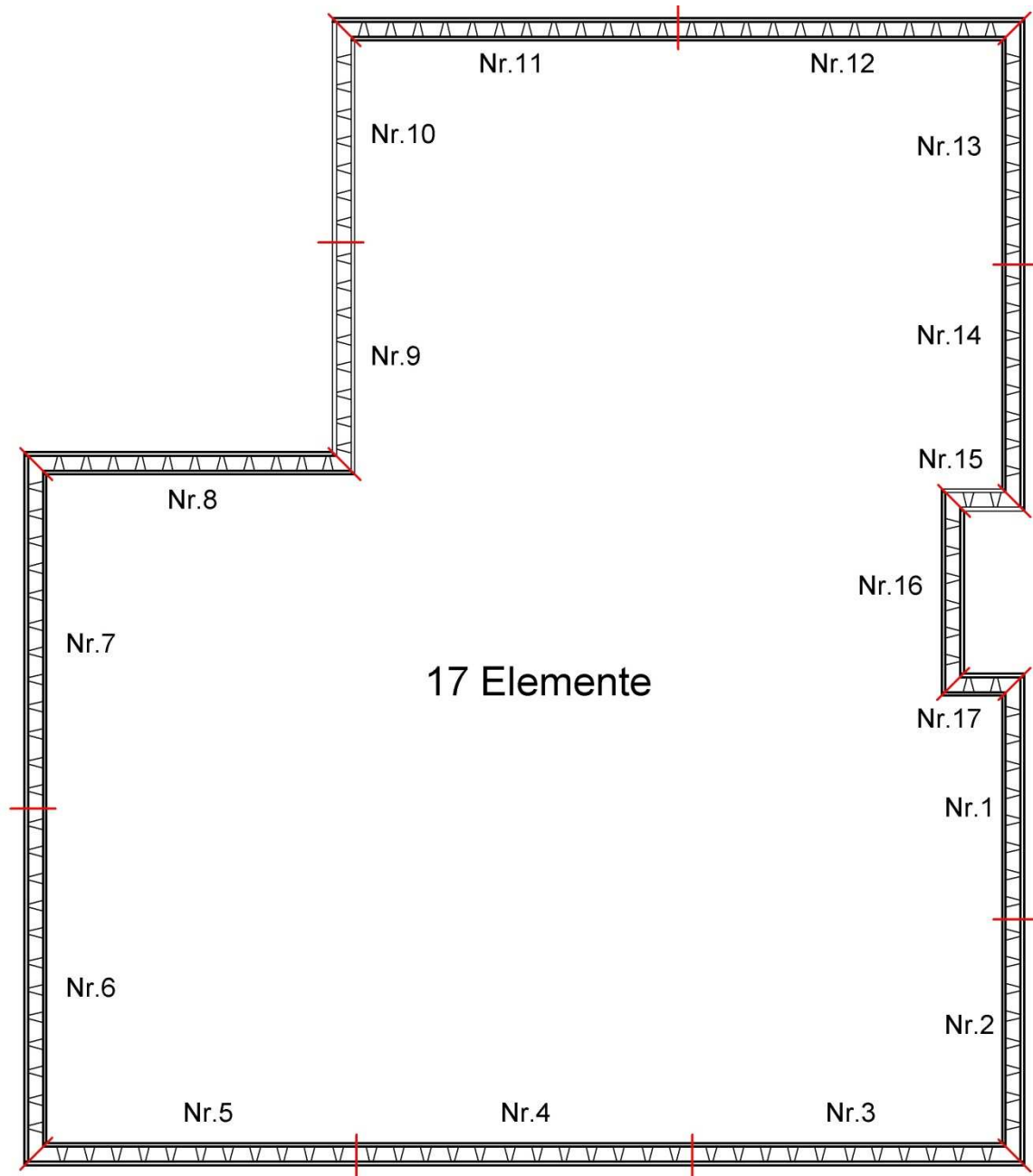


Abbildung 11: Dreifachelementplan

### 8.3.1 Materialkostenberechnung der Ausführung als Dreifachelementwand

Aus den Angaben zu Bauwerk und Konstruktion wird die benötigte Gesamtmasse ermittelt. Durch die Einheitskosten in Kapitel 7.1 werden die Materialmengen in Kosten umgerechnet. Durch die Summierung der Einzelkosten entsteht der gesamte Kostenbedarf an Material für die Herstellung einer Wand in Dreifachelementbauweise. Zur Kostenauflistung siehe die Tabelle „Materialkosten der Dreifachelementwand“. Auf die Summe die durch die Einzelkosten in der Tabelle entsteht, wird ein Zuschlag von 10% aufgerechnet, um einen Anteil an Geschäftskosten darzustellen.

Pos. 19	Materialkosten der Dreifachelementwand	Betrag	Kosten
1	Halbfertigteilwandelemente	161,52 m <sup>2</sup>	5.491,60 €
2	Bewehrungsgehalt horizontal	849,5 kg	1.146,83 €
3	Bewehrungsgehalt vertikal	876,1 kg	1.182,77 €
4	Abstandsbocke	484,6 kg	654,21 €
5	Transportbeton 8mm für Anschlussmischung	5,162 m <sup>3</sup>	510,99 €
6	Transportbeton für den Kernbeton	34,410 m <sup>3</sup>	3.298,97 €
7	Fugenband für Anschlussfugen an geraden Stößen	7 Stück	479,50 €
8	Fugenband für Anschlussfugen an Eckstößen	10 Ecken	720,00 €
9	Hilfsmaterial für Dreifachwand	70,225 m	196,63 €
10	Flachbleche für Eckstabilisierung	10 Ecken	150,00 €
11	Montagehilfe	17 Elem.	472,60 €

Der Rechnungsweg zu der oberen Tabelle befindet sich in den folgen Punkten.

$$\begin{aligned} \text{zu 1. Elementfläche} &= l_w [m] \times h_w [m] \\ &= 70,225 m \times 2,30 m = 161,52 m^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kosten} = 161,52 m^2 \times 34,00 \frac{\text{€}}{m^2} = 5491,60 \text{ €}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 2. Bewehrung} &= a_{s, \text{hori}} \left[ \frac{cm^2}{m} \right] \times 0,785 \left[ \frac{kg}{cm^2 \times m} \right] \times l_w [m] \times h_w [m] \\ &= 6,70 cm/m^2 \times 0,785 \left[ \frac{kg}{cm^2 \times m} \right] \times 70,225 m \times 2,3 \\ &= 849,5 kg \end{aligned}$$

$$\text{Kosten} = 849,5 kg \times 1,35 \frac{\text{€}}{kg} = 1146,83 \text{ €}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 3. Bewehrung} &= a_{s, \text{vert}} \left[ \frac{cm^2}{m} \right] \times 0,785 \left[ \frac{kg}{cm^2 \times m} \right] \times l_w [m] \times h_w [m] \\ &= 6,91 cm/m^2 \times 0,785 \left[ \frac{kg}{cm^2 \times m} \right] \times 70,225 m \times 2,3 \\ &= 876,1 kg \end{aligned}$$

$$\text{Kosten} = 876,1 kg \times 1,35 \frac{\text{€}}{kg} = 1182,77 \text{ €}$$

$$\begin{aligned}
 \text{zu 4. } A - \text{Böcke} &= \text{Gehalt} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] \times l_w \text{ [m]} \times h_w \text{ [m]} \\
 &= 3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 70,225 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \\
 &= 484,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kosten} = 484,6 \text{ kg} \times 1,35 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 654,21 \text{ €}$$

$$\begin{aligned}
 \text{zu 5. } \text{Beton } 8 \text{ mm} &= d_{w,\text{Kern}} \text{ [m]} \times l_w \text{ [m]} \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 0,245 \text{ m} \times 70,225 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 5,162 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Kosten} = 5,162 \text{ m}^3 \times 99,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 510,99 \text{ €}$$

$$\begin{aligned}
 \text{zu 6. } \text{Beton } 16 \text{ mm} &= d_{w,\text{Kern}} \text{ [m]} \times l_w \text{ [m]} \times h_w \text{ [m]} - 0,3 \text{ m} \\
 &= 0,245 \text{ m} \times 70,225 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} - 0,3 \text{ m} \\
 &= 34,410 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Kosten} = 34,410 \text{ m}^3 \times 95,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 3268,97 \text{ €}$$

$$\text{zu 7. } \text{Fugenband gr.} = n_{\text{Elem}} - n_{\text{Ecke}} = 17 - 10 = 7 \text{ Stück}$$

$$\text{Kosten} = 7 \text{ Stück} \times 68,50 \frac{\text{€}}{\text{Stück}} = 479,50 \text{ €}$$

$$\text{zu 8. } \text{Fugenb. Eck.} = n_{\text{Ecke}} = 10 \text{ Ecken}$$

$$\text{Kosten} = 10 \text{ Ecken} \times 72,00 \frac{\text{€}}{\text{Ecken}} = 720,00 \text{ €}$$

$$\text{zu 9. } \text{Hilfsmaterial} = l_w \text{ [m]} = 70,225 \text{ m}$$

$$\text{Kosten} = 70,225 \text{ m} \times 2,80 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 196,63 \text{ €}$$

$$\text{zu 10. } \text{Eckstabi.} = n_{\text{Ecke}} = 10 \text{ Ecken}$$

$$\text{Kosten} = 10 \text{ Ecken} \times 15,00 \frac{\text{€}}{\text{Ecke}} = 150,00 \text{ €}$$

$$\text{zu 11. } \text{Montagehilfe} = n_{\text{Elem}} = 17 \text{ Elem.}$$

$$\text{Kosten} = 17 \text{ Elem.} \times 27,80 \frac{\text{€}}{\text{Elem.}} = 472,60 \text{ €}$$

Die summierten Kosten für das Material einer Dreifachwand betragen 14.274,04 €. Der Gesamtpreis inklusive des 10 % Zuschlages beträgt 15.701,44 €

### 8.3.2 Lohnkostenberechnung der Ausführung als Dreifachelementwand

Zur Berechnung der Lohnkosten einer Dreifachelementwand werden die Zeitansätze aus dem allgemein gültigen Abschnittes 6.2.3 entnommen. Durch Multiplikation mit der jeweiligen Ausführungsmenge, wird die Gesamtzeit errechnet. Die Gesamtzeit und der Lohnsatz aus Abschnitt 7.2 ergeben die Kosten der Einzelleistung. Die Bezugsmassen auf denen die Zeitansätze errechnet werden, sind anders als bei der Ortbetonwand auf verschiedene Einheiten wie Elementzahl, Eckanzahl oder umlaufende Länge bezogen.

Tab. 20	Lohnkosten der Dreifachelementwand	Dauer pro Einheit	Gesamtmasse	Personal x Zeit	Kosten
1	Vorarbeiten	0,01 h/m	70,225 m	4 x 0,70 h	112,98 €
2	Aufstellen, Abstützen	0,45 h/El.	17 Elem.	4 x 7,65 h	1.230,73 €
3	Pentaflexdichtung anbringen	0,15 h/El.	17 Elem.	2 x 2,55 h	205,12 €
4	Eckbleche anbringen	0,20 h/Eck	10 Ecken	2 x 2,00 h	160,88 €
5	Vorwässern der Wandseiten	0,01 h/m <sup>2</sup>	161,52 m	1 x 1,62 h	64,96 €
6	Anschlussmischung betonieren	0,12 h/m <sup>3</sup>	5,162 m <sup>3</sup>	4 x 0,62 h	99,65 €
7	Betonieren des Kernbetons	0,12 h/m <sup>3</sup>	34,423 m <sup>3</sup>	4 x 4,13 h	664,31 €
8	Nachbehandlung	0,01 h/m <sup>2</sup>	161,52 m <sup>2</sup>	1 x 1,61 h	64,96 €
9	Demontage der Schrägstützen	0,06 h/El.	17 Elem.	2 x 1,02 h	82,05 €
10	Entfernen der Dränbretter	0,02 h/m	70,225 m	2 x 1,40 h	112,98 €

In den folgenden Punkten werden die Rechenwege für Gesamtzeit und Kosten aus der Tabelle dargestellt.

$$\begin{aligned} \text{zu 1. Gesamtzeit} &= 0,01 \frac{h}{m} \times 70,225 m \times 4 \text{ Arb.} = 0,70 h \times 4 = 2,80 h \\ \text{Kosten} &= 2,80 h \times 40,22 \text{ €} = 112,98 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 2. Gesamtzeit} &= 0,45 \frac{h}{\text{Elem.}} \times 17 \text{ Elem.} \times 4 \text{ Arb.} = 7,65 h \times 4 = 30,60 h \\ \text{Kosten} &= 30,60 h \times 40,22 \text{ €} = 1230,73 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 3. Gesamtzeit} &= 0,15 \frac{h}{\text{Elem.}} \times 17 \text{ Elem.} \times 2 \text{ Arb.} = 2,55 h \times 2 = 5,10 h \\ \text{Kosten} &= 5,10 h \times 45,00 \text{ €} = 205,12 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 4. Gesamtzeit} &= 0,20 \frac{h}{\text{Eck.}} \times 10 \text{ Eck.} \times 2 \text{ Arb.} = 2,00 h \times 2 = 4,00 h \\ \text{Kosten} &= 4,00 h \times 40,22 \text{ €} = 160,88 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{zu 5. Gesamtzeit} &= 0,01 \frac{h}{m^2} \times 161,52 m \times 1 \text{ Arb.} = 1,62 h \times 1 = 1,62 h \\ \text{Kosten} &= 1,62 h \times 40,22 \text{ €} = 64,96 \text{ €} \end{aligned}$$

- zu 6. *Gesamtzeit* =  $0,12 \frac{h}{m^3} \times 5,162 m^3 \times 4 = 0,62 h \times 4 = 2,48 h$   
*Kosten* =  $2,48 h \times 40,22 \text{ €} = 99,65 \text{ €}$
- zu 7. *Gesamtzeit* =  $0,12 \frac{h}{m^3} \times 34,423 m^2 \times 4 \text{ Arb.} = 4,13 h \times 4 = 16,52 h$   
*Kosten* =  $16,52 h \times 40,22 \text{ €} = 664,31 \text{ €}$
- zu 8. *Gesamtzeit* =  $0,01 \frac{h}{m^2} \times 161,52 m^2 \times 1 \text{ Arb.} = 1,61 h \times 1 = 1,62 h$   
*Kosten* =  $1,62 h \times 40,22 \text{ €} = 64,96 \text{ €}$
- zu 9. *Gesamtzeit* =  $0,06 \frac{h}{Elem.} \times 17 \text{ Elem.} \times 2 \text{ Arb.} = 1,02 h \times 2 = 2,04 h$   
*Kosten* =  $2,04 h \times 40,22 \text{ €} = 82,05 \text{ €}$
- zu 10. *Gesamtzeit* =  $0,02 \frac{h}{m} \times 70,225 m \times 2 \text{ Arb.} = 1,40 h \times 2 = 2,81 h$   
*Kosten* =  $2,81 h \times 40,22 \text{ €} = 112,98 \text{ €}$

Die Kosten der Lohnarbeiten inklusive der Gemeinkosten bei einer Ausführung als Dreifachwand betragen 2.798,62 €.

### 8.3.3 Mietkostenberechnung der Ausführung als Dreifachelementwand

Die Mietkosten beziehen sich bei der Herstellung der Kellerwand in Dreifachelementbauweise auf Einheiten aus der Zeit- oder Materialberechnung. Kostenbeträge werden aus der Tabelle „Mietpreisliste“ entnommen. In Verbindung der beiden Werte ergeben sich die Mietkosten für das jeweilige Mietgerät. Hierzu siehe die folgende Tabelle „Mietkosten der Dreifachelementwand“

Tab. 21	Mietkosten der Dreifachelementwand	Einheit	Einheitskosten	Kosten
1	Autokran 100 to.	7,65 h + 1h	152,25 €/h	1316,93 €
2	Miete für Schrägstützen	17 Elemente	6,80 €/Element	115,60 €
3	Betonpumpe	39,585 m <sup>3</sup>	12,50 €/m <sup>3</sup> + 168,00 €	662,81€

zu 1. Die Abrechnungszeit von 8,65 Stunden setzt sich aus der Versetzzeit von 7,65 h und der An- und Abfahrt von pauschal einer Stunde zusammen.

$$\text{Krankosten} = 8,65 \text{ h} \times 152,25 \text{ €/h} = 1316,93 \text{ €}$$

zu 2. Die Miete für die Schrägstützen wird pauschal pro Element angegeben.

$$\text{Stützenkosten} = 17 \text{ Elemente} \times 6,80 \frac{\text{€}}{\text{El.}} = 115,60 \text{ €}$$

zu 3. Die Betonpumpe wird nach Kapitel 7.3 in m<sup>3</sup> Betonmenge berechnet.

$$\text{Pumpkosten} = (5,162 \text{ m}^3 + 34,423 \text{ m}^3) \times 12,50 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + 168,00 \text{ €} = 662,81 \text{ €}$$

Die Kosten für Mietgeräte für die Herstellung einer Dreifachwand aus Halbfertigteilelementen beträgt 2.095,21 €



## 8.4 Kosten der Ausführungen

Beide Ausführungsweisen bestehen aus den gleichen Grundkosten. Die Kostenermittlung basiert auf der Aufteilung von Material-, Lohn- und Mietkosten. In der nachfolgenden Tabelle sind für jeweils beide Ausführungen Kostenarten und Kostenbetrag aufgezählt. Die summierten Gesamtkosten für Ortbeton- und Elementbauweise werden in der letzten Spalte der Tabelle aufgeführt.

Kostenart	Ortbetonbauweise	Dreifachelementbauweise
Materialkosten	8.128,62 €	15.701,44 €
Lohnkosten	7.931,86 €	2.798,62 €
Mietkosten	2.057,75 €	2.095,21 €
Gesamtkosten	18.118,23 €	20.595,27 €

Tabelle 22: Auswertung der Gesamtkosten

In den beiden nachfolgenden Kreisdiagrammen wird die prozentuale Verteilung der Kostenarten dargestellt. Sie beziehen sich auf den jeweiligen Gesamtpreis der beiden Ausführungsarten gemessen an dem Beispielprojekt.

### 8.4.1 Kostenzusammensetzung Ortbetonbauweise

Bei der Ortbetonvariante sind die Anteile der Materialkosten mit 45% und Lohnkosten 44% in etwa gleich groß. Die Mietkosten sind mit einem Kostenanteil von 11% eher untergeordnet. Grund für die Verteilung ist der hohe Arbeitszeitaufwand der auf der Baustelle getätigt werden muss.

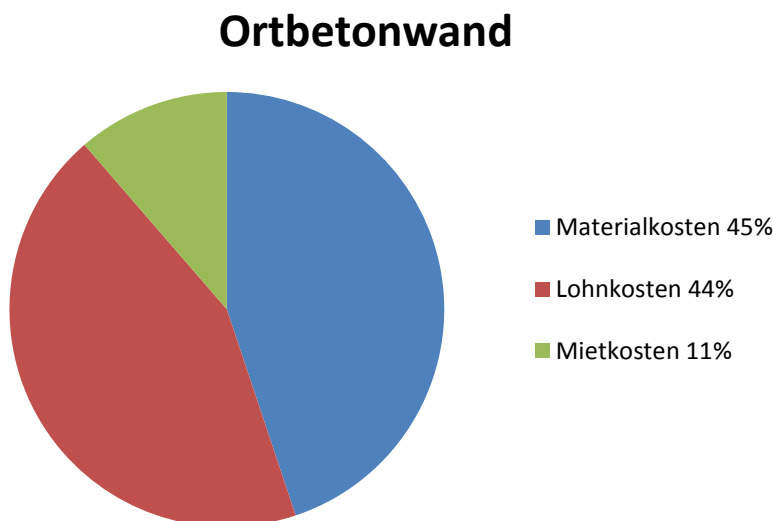


Abbildung 12: Kostenanteile Ortbetonbauweise

### 8.4.2 Kostenzusammensetzung Dreifachelementbauweise

Die Kostenanteile bei der Dreifachwand sind ungeordneter als bei der Ortbetonwand. Über dreiviertel des Kostenrahmens werden von den Materialkosten abgedeckt. Lohnkosten sind mit 14% deutlich geringer als die Materialkosten mit 76%. Grund für die Verteilung sind die Kosten für die im Werk vorgefertigten Wandelemente und die deutlich kürzere Arbeitszeit auf der Baustelle, im Vergleich zur Ortbetonwand.

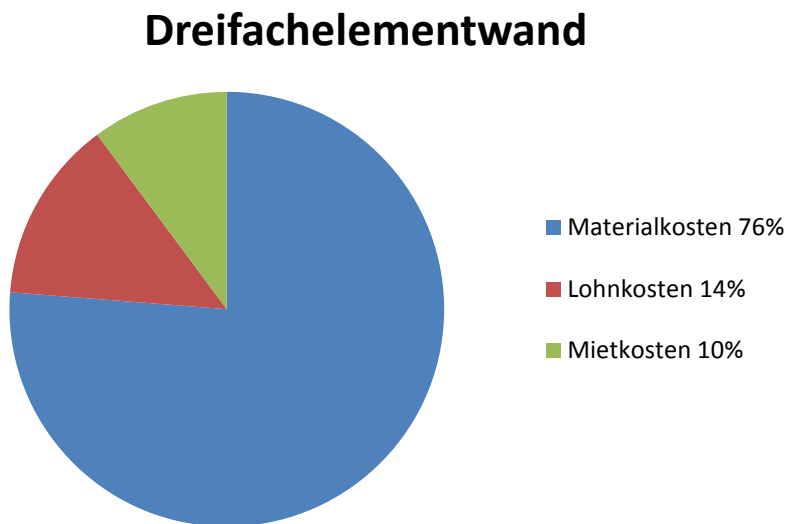


Abbildung 13: Kostenanteile Dreifachelementbauweise

### 8.5 Bauzeit der Ausführungen

In den folgenden zwei Teilabschnitten wird jeweils eine Tabelle abgebildet, in denen die einzelnen Arbeiten für eine Ausführungsweise aufgelistet werden. Es handelt sich um Tätigkeiten mit realer Dauer, die auf der Baustelle verrichtet werden. Die zeitlichen Inhalte der Tabelle sind aus den Abschnitten für den Lohnaufwand der entsprechenden Ausführungsweise entnommen. Die tatsächliche Gesamtzeit wird jeweils in ganzen Tagen à 8 Stunden angegeben, da keine Wechselzeiten und Pausen in den Zeitverlauf aufgenommen werden.

### 8.5.1 Bauzeit der Ortbetonwand

Der Ablauf der Arbeiten vom Aufstellen der Schalung bis zur Nachbehandlung der ausgeschalteten Ortbetonwand hat eine theoretische Gesamtdauer von 50,92 Stunden. Dieser Zeitraum wird als theoretisch betrachtet, da die Abbindezeit des Betons den Zeitrahmen um ca. 2 Tage verlängert.

Tätigkeit	reale Dauer	Personalanzahl
Schalung aufstellen	16,15 h	4
Bewehren	12,80 h	4
Betonieren der Ortbetonwand	5,81 h	4
Ausschalen der Wand	12,92 h	4
Nachbehandlung	3,23 h	2
Gesamte Dauer	50,92 h	Durchschnitt: 3,92

Tabelle 23: Zeitauswertung der Ortbetonwand

In der folgenden Abbildung ist der Tätigkeitsverlauf in Form eines Balkendiagramms abgebildet. Es ist möglich, dass einige Aufgaben zeitlich überschneiden, wie zum Beispiel das Aufstellen der Schalung und das Bewehren der Wand. Die verbrauchte Zeit ist von einer Überschneidung zweier Vorgänge nicht abhängig, da die tatsächlich berechnete Zeit pro Vorgang verwendet wurde. Die Aufsummierung der Einzelleistungen inklusive der Aushärtungszeit des Betons entspricht in etwa 9 Tagen. Erst ab einer Kolonnengröße von über vier Mitarbeitern können in der Herstellungszeit noch unabhängige Nebentätigkeiten parallel verrichtet werden, da bis auf den letzten Vorgang ständig eine Gesamtzahl von vier Arbeitern benötigt wird.

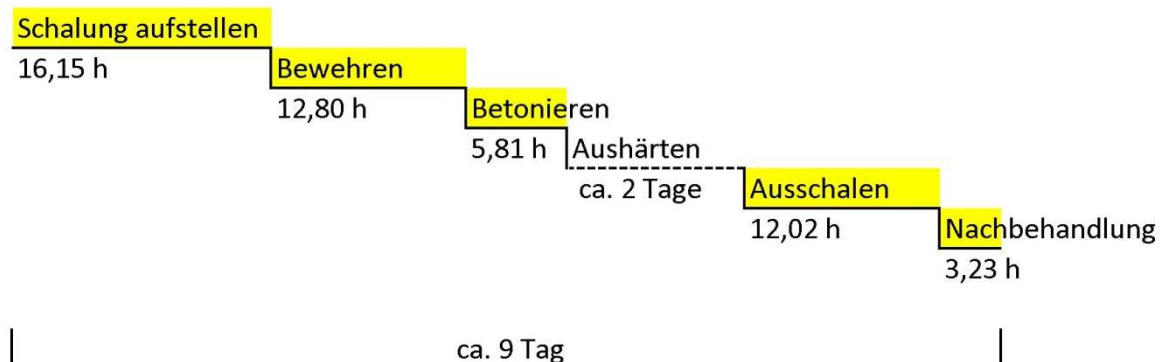


Abbildung 14: Balkendiagramm Ortbetonwand

### 8.5.2 Bauzeit der Dreifachelementwand

Der Zeitablauf, der aneinander hängenden Einzelzeiten, zum Herstellen der Dreifachelementwand gliedert sich in mehreren kleineren Abschnitten. Die direkte summierte Dauer ist 23,31 h. Da einige Vorgänge mit weniger als vier Mitarbeitern gehandhabt werden können, sind eine Überschneidung der Tätigkeiten oder unabhängige Nebentätigkeiten möglich ohne den Zeitrahmen auszuweiten.

Tätigkeit	reale Dauer	Personalanzahl
Dränbretter anbringen	0,70 h	4
Elemente aufstellen	7,65 h	4
Pentaflexdichtung anbringen	2,55 h	2
Eckbleche anbringen	2,00 h	2
Vornässen der Elementwand Innenseiten	1,62 h	1
Anschlussmischung Betonieren	0,62 h	4
Betonieren des Kernbetons	4,13 h	4
Nachbehandlung	1,62 h	1
Demontage der Stützen	1,02 h	2
Entfernen der Dränbretter	1,40 h	2
Gesamte Dauer	23,31 h	Durchschnitt: 2,98

Tabelle 24: Zeitauswertung der Dreifachelementwand

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Balkendiagramm, das den zeitlichen Verlauf der Wandherstellung in gegliederten Arbeitsschritten darstellt. Die Aushärtungszeit, bis die Schrägstützen entfernt werden können, wird wie bei der Ortbetonwand mit zwei Tagen angenommen. Die zeitliche Folge ergibt eine Gesamtdauer von ca. fünf Tagen.

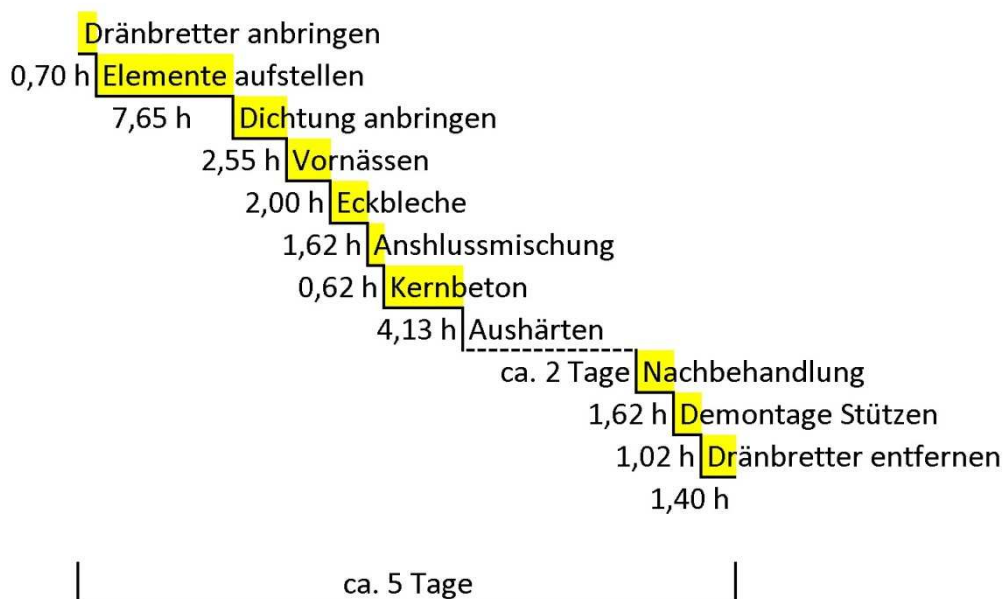


Abbildung 15: Balkendiagramm Dreifachelementwand

## 8.6 Erkenntnisse am Beispielprojekt

Beide Ausführungsweisen sind eine realistische Variante für die herzustellende Weiße Wanne in dem genannten Projekt. Die Ortbetonwand ist die günstigere Bauweise bei dem durchgeführten Vergleich, wenn mehrere Faktoren wie Bauzeit und Personalauslastung in richtiger Weise einbezogen werden können. Die längere Bauzeit, der Ortbetonkellerwand darf in Verbindung mit dem Bauzeitenplan des gesamten Gebäudes zu keiner Bauzeitüberschreitung führen. Vertragsstrafen können je nach Vertragsbindung die Konsequenz sein. Wenn die Auslastung des ausführenden Bauunternehmens sehr hoch ist, kann die Elementbauweise die weniger Arbeitsaufwand an eigenem Personal enthält, für das Unternehmen die sinnvollere Lösung sein.

Bei einer nachträglichen Abdichtung bei Undichtigkeit, führt es bei einer Dreifachelementwand wahrscheinlich zu höheren Folgekosten als bei der Ortbetonwand. Durch den Entwurfsgrundsatz der Ortbetonwand, kann es jedoch eher zu kleinen Undichtigkeiten führen. Wenn ein Nutzungswechsel des Kellers schon in der Planung absehbar ist, kann die Dreifachelementwand die bessere Variante sein.

## 9 ALLGEMEINE ERGEBNISAUSWERTUNG

### 9.1 Kostenzusammensetzung

Beim direkten Vergleich der beiden Ausführungsarten ist die Ortbetonwand in der Ausführung als Weiße Wanne rund 12 % günstiger als eine Dreifachelementwand. Bei einer Auswahl zwischen unterschiedlichen Ausführungsarten, kann für ein Bauunternehmen der Kostenrahmen ein entscheidender Faktor sein. In diesem Punkt hat die Ortbetonwand als Ausführung mit einer trennrissbegrenzenden Bewehrung klare Vorteile gegenüber der Elementbauweise. Wenn ein Bauunternehmen zeitlich auf lange Sicht genug Arbeit zu verrichten hat, kann die Dreifachwand eine gute Alternative sein. Durch den geringen Lohnaufwand der Dreifachwand, wird das eigene Personal bei der Bauausführung weniger beansprucht als bei der gleichwertigen Ausführung als Ortbetonwand.

### 9.2 Bauzeit

Im Bauzeitvergleich ist eine Dreifachelementwand deutlich schneller herzustellen als eine Ortbetonwand. Durch den geringen Zeitraum für die Montagetätigkeit einer Dreifachwand, werden weniger Arbeitsstunden auf der Baustelle benötigt. Bei einem Bauvorhaben, welches terminlich begrenzt herzustellen ist, kann die Dreifachwand die bessere Ausführungsweise sein. Wenn das herzustellende Projekt keiner strengen Zeitplanung unterliegt und zudem das Bauunternehmen nicht vollständig ausgelastet ist, ist der längere Arbeitszeitraum einer Ortbetonwand nicht nachteilig.

### 9.3 Reflektion der Erkenntnisse

Kellerbauwerke sind in unterschiedlichen Größen und Formen herstellbar. Nicht für jedes Bauprojekt gelten die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Beispielprojekt. Die oben aufgeführten Ergebnisse sind auf einen mittelgroßen einstöckigen Kellerraum bei drückendem Grundwasser und der Nutzungsklasse B bezogen. Der Beispielkeller hat ausschließlich 90° Ecken und eine lichte Raumhöhe von 2,30 m. Zu klären ist, wann und ob die Eigenschaften bei einem anderen Bauobjekt zu anderen Ergebnissen führen würden.

Veränderbare Eigenschaften können zum Beispiel die Wandhöhe, Kellergrundform, Nutzungszweck oder Beanspruchungsart sein.

Wenn bei einer Elementbauweise die Raumhöhe des Kellers die Fertigungshöhe der Wände übersteigt, ist die Wandelementlänge begrenzt. In Fertigteilwerken ist es oft der Fall, dass die Maximalbreite der Schaltische drei Meter beträgt. Bei einer Wandhöhe größer als drei Meter, müssen die Wandelemente als aufrechte Rechtecke aufgestellt werden. Die Länge der einzelnen Wandelemente beträgt dann nur noch drei Meter, wodurch die Gesamtzahl der Elemente deutlich größer wird, als bei einer Wand mit einer Höhe kleiner als 3,00 m. Durch eine erhöhte Elementzahl steigt die Versetzzeit und es gibt mehr

Fugen, die abgedichtet werden müssen. Wenn die Höhe einer Kellerwand die Fertigungshöhe überschreitet, wird die Dreifachelementwand als Ausführungsweise ungünstiger als im beispielhaften Vergleich, da Arbeitszeit und Herstellungskosten steigen.

Ein Entscheidungsmerkmal kann in einigen Fällen auch die Grundform des Kellergebäudes sein. Ein großflächiger Keller mit langen Wandabschnitten kann unter Umständen im Vergleich zur Elementbauweise des Beispielkellers flächenmäßig günstiger zu fertigen sein, da viele lange Elemente eingesetzt werden können. Ein Keller mit vielen ungünstig kurzen Wandabschnitten und vielen Gebäudeecken ist in der Elementbauweise im Verhältnis zum Beispielkellers ungünstiger.

Wenn eine hochwertige Nutzung erwartet wird, hat eine die Dreifachelementwand im Vergleich Vorteile, da sie durch ihren Entwurfsgrundsatz der Trennrissvermeidung keinerlei Wasserdurchtritt zulässt. Bei einem Kellerraum, der Nutzungsklasse A entsprechen soll, sind dunkle Feuchtstellen im Beton nicht zulässig. Bei einer Ortbetonwand mit trennrissbegrenzender Bewehrung können Feuchtstellen durch minimalen Wassereintritt vorkommen. Die Gefahr des Feuchteintrittes bei einer Ortbetonwand, auch bei Abdichtung der Risse durch Selbstheilung oder Injektionslösung, besteht darin, dass sich der Grundwasserstand verändert und so neue unvorhergesehene Fehlstellen auftreten. Eine Dreifachelementbauwand ist im Normalfall auf gesamter Höhe durch Fugenband abgedichtet und lässt keinen Durchtritt von Grundwasser zu.

Ist ein Keller auf einem wasserdurchlässigen Boden gegründet und das höchstanzunehmende Grundwasser deutlich unterhalb der Kellersohle, kann nach die Beanspruchungsklasse 2 bemessen werden. Es kann auf eine dickere Wandstärke der Elementbauwand verzichtet werden, da die Wand nicht von drückendem Grundwasser beansprucht wird. Die Herstellung der Dreifachwand wird in dem Fall günstiger als die beispielhaft berechnete Elementwand.

## 10 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Abschlussarbeit geht es um den Vergleich zwischen zwei verschiedenen Ausführungsweisen von wasserundurchlässigen Betonbauwerken. Die Grundlagenermittlung führt zu einer Einteilung nach Entwurfsgrundsätzen sowie technischen Regelbestimmungen. Die beiden Ausführungen der Ortbetonwand und der Dreifachelementwand werden für einen Vergleich technisch vorgestellt. Anhand eines aufgestellten Vergleichskonzeptes werden diese beiden Ausführungsweisen in allgemeingültige Material-, Zeit- und Mietaufwandgruppen aufgeteilt.

Ein allgemeiner Vergleich der beiden Ausführungsarten wird nach dem festgelegten Konzept mit Hilfe des erstellten Ablaufschemas durchgeführt. Als Ergebnis werden zeitliche und mathematische Ansätze für die jeweiligen Aufwandsgruppen ermittelt.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem allgemeingültigen Teil der Arbeit werden auf ein Beispielgebäude übertragen. Es entstehen Kostenwerte für die einzelnen Aufwendungen und eine Ausführungszeit für das beschriebene Bauprojekt.

Die Auswertung des Beispiels zeigt, dass die Ortbetonvariante in der Herstellung günstiger ist als die Elementbauweise. Wenn aber ein kurzer Zeitraum gegeben ist, kann die Elementbauweise eine gute Alternative sein, weil sie ist deutlich schneller herzustellen ist.



## 11 SUMMARY

This thesis contains the comparison of two different versions of impervious concrete walls. The basics of the comparison are divided in production types and technical standards. A wall that is made completely on the construction site and a wall, which is build out of finished parts are presented for a technical comparison. Based on this comparison, this thesis provides a concept for the two types of concrete walls. The costs are divided into material-, labour- and rental- costs.

The comparison is developed in general terms with help of a self-made diagram. In this section of the report the basics for material, work and rent are listed with mathematical calculations.

The experiences from the general part are transfer on an example building. Based on this exemplary building, time and costs are calculated.

The analytics results, that the building side concrete wall is the cheapest kind. But if it isn't enough time to realize it, the element wall can be the right type.

## 12 QUELLENVERZEICHNIS

Weißer Wannen einfach und sicher – Konstruktion und Ausführung wasserundurchlässiger Bauwerke aus Beton, Lohmeyer/ Ebeling, 9. überarbeitete Auflage, Verlag Bau+ Technik

Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 555, Beuth, Berlin 2006

Baugeräteliste 2007, Technisch-wirtschaftliche Baumaschinendaten, Die deutsche Bauindustrie, Bauverlag, Berlin 2007

Betonfertigteilwerk Ragano Nordhorn

---

**13 ANLAGENVERZEICHNIS**

Betonpreisliste, Ragano Betonwerke	60
Betonpreisliste, Ragano Betonwerke	61
Betonfertigteilpreisliste, Ragano Betonwerke	62
Betonfertigteilpreisliste, Ragano Betonwerke	63
Preisliste Mobilkrane, J+B Kuipers	64
Baugrundgutachten, Dr. Schleicher & Partner Ingenieurgesellschaft mbH	65
Prüfstatik des Beispielgebäudes Lindschulte Ingenieurgesellschaft	66
Prüfstatik des Beispielgebäudes Lindschulte Ingenieurgesellschaft	67
Bewehrungsplan Dreifachwandelement, Ragano Betonwerke	68